VISIT…

LANZAROTE

Caliente.COM

ВСЕСОЮЗНОЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
при АКАДЕМИИ НАУК СССР

# ИНСТРУКЦИЯ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ САМОДЕЛЬНОГО РЕФЛЕКТОРА

*Составил*
*М. С. НАВАШИН*




ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

ВСЕСОЮЗНОЕ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
при АКАДЕМИИ НАУК СССР

# ИНСТРУКЦИЯ К ИЗГОТОВЛЕНИЮ САМОДЕЛЬНОГО РЕФЛЕКТОРА

СОСТАВИЛ
М. С. НАВАШИН




ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

Ответственный редактор
*С. А. ШОРЫГИН*

## ВВЕДЕНИЕ

Нет никакого сомнения в том, что для любителя-одиночки или для коллективов астрономов-любителей рефлектор является единственным доступным инструментом, особенно, если имеется в виду сколько-нибудь сильный инструмент. Однако купить его негде. Зато изготовление рефлектора своими силами не только вполне возможно, но само по себе служит превосходным средством для серьезного изучения основ конструкции астрономических инструментов, а главное, — для усвоения практики наблюдений.

Предлагаемая инструкция предназначена лишь для начинающих и теоретически мало подготовленных любителей. Поэтому мы ограничиваемся лишь описанием изготовления наиболее простого ньютоновского рефлектора со сферическим зеркалом. Однако не следует думать, что такой инструмент неспособен дать хороших результатов. Напротив, за исключением тех случаев, где важно большое относительное отверстие, он ни в чем не уступит самому лучшему телескопу. В сравнении же с рефрактором одинакового свободного отверстия он в большинстве случаев окажется лучше.

Само собою разумеется, что многое зависит от технических навыков, способностей и от материальных возможностей. Мы имеем в виду лиц средней подготовки и притом не обладающих специальным оборудованием, вроде токарного станка и пр. Разумеется, читатель, обладающий таким оборудованием, достигнет большего, особенно, в отношении монтировки своего инструмента. Последняя задача нами рассматривается наиболее кратко, так как механическая часть телескопа не может быть как следует изготовлена без соответственного оборудования. Поэтому читатель найдет ниже вполне достаточные указания для изготовления оптической части рефлектора, притом высокой мощности. Если же он захочет снабдить свой инструмент столь же совершенной установкой, ему, почти наверное, придется прибегнуть к помощи мастерской; это, впрочем, еще полбеды, так как всегда можно найти механика, который с большей или меньшей степенью совершенства выполнит заказ. Но в изготовлении главной части инструмента — его оптики — любитель может рассчитывать только на свои силы. Если же настоящей монтировки до поры до времени сделать и не удается, то, как читатель увидит ниже, это не столь страшно, так как ряд интереснейших наблюдений можно проводить почти без всякой установки, правда, ценою значительных неудобств.

Напомним, что телескоп системы Ньютона (рис. 1) состоит из вогнутого зеркала («главного зеркала»), служащего объективом, и из маленького плоского зеркальца («вспомогательного»), поставленного под углом в 45° к оптической оси и отбрасывающего лучи, отраженные главным зеркалом вбок, в отверстие, сделанное в стенке трубы, где поме-

щается окуляр или фотопластинка. Строго говоря, телескоп может дать безупречное изображение лишь в том случае, если поверхность его главного зеркала имеет параболическую (правильнее, параболоидальную) форму. Но если светосила, т. е. отношение поперечника зеркала к его фокусному расстоянию, не превосходит определенной величины, то, как показывает расчет, практически можно без ущерба для дела обойтись зеркалом более простой сферической (шаровой) формы. Его изготовление несравненно проще.

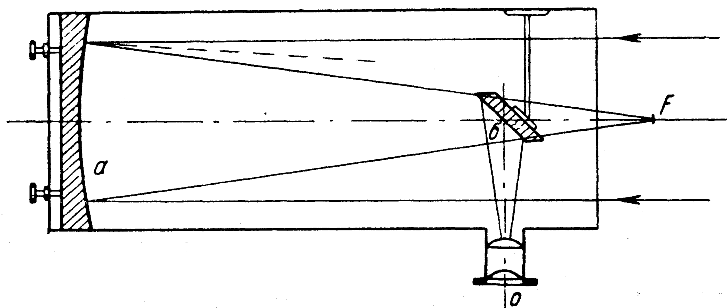



Рис. 1. Схема рефлектора системы Ньютона

*а* — главное вогнутое зеркало, образующее изображение светила в *F* (главный фокус); *б* — маленькое плоское зеркальце, поставленное перед фокусом под углом в 45° к оптической оси, отражает конус лучей в боковое отверстие трубы, где его рассматривают в окуляр *о*.

Дальше мы будем иметь в виду именно сферическое зеркало небольшой светосилы, изготовление которого вполне под силу начинающему. Однако это ни в коем случае не означает, что качество инструмента будет плохо; малая светосила лишь немного суживает границы применимости, например, делает инструмент менее пригодным для наблюдения туманностей и комет. Но Луна, Солнце, большие планеты и звезды будут доступны не только не хуже, но, пожалуй, даже лучше, чем более светосильному инструменту одинакового с ним диаметра (поперечника главного зеркала).

Расчет показывает, что чем больше диаметр сферического зеркала, тем меньше должна быть его светосила; иначе изображения светил не будут достаточно отчетливы. Зеркало диаметром в 100 мм может иметь светосилу около 1 : 7, при диаметре в 150 мм светосила не должна превосходить 1 : 8, а при диаметре в 200 мм нельзя переходить за светосилу 1 : 9. Таким образом, зеркало в 100 мм должно иметь фокусное расстояние не менее 75 см, зеркало в 150 мм — не менее 120 см, а в 200 мм — не менее 1.8 м. Подчеркиваем, что это низшие теоретические пределы. На практике лучше придерживаться более жестких норм, например, взяв для зеркала в 150 мм фокусное расстояние в 1.5 м.

Обратимся теперь к самому изготовлению телескопа.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГЛАВНОГО ЗЕРКАЛА

### 1. Материалы и приспособления

Для изготовления одного зеркала необходимы два стеклянных круга (диска) из толстого зеркального («корабельного») стекла. Один из них будет служить для обработки второго, из которого, в конце концов, получится зеркало. Гораздо лучше в качестве материала для зеркала особое стекло «пирекс», отличающееся твердостью и, главное, очень низким термическим коэффициентом; значение последнего свойства станет скоро понятно. Однако и простое корабельное стекло вполне годится для

зеркал не свыше 200—300 мм. Пузыри, камешки, царапины и прочие недостатки стекла не страшны. Важно, однако, чтобы оно было достаточно толсто (толщина должна быть не менее $^1/_8$ диаметра, а лучше — $^1/_6$) и хорошо отожжено. Слишком тонкое стекло будет гнуться при обработке и, просто, от собственной тяжести, а если оно плохо отожжено, то его может покоробить. Края дисков должны иметь фаску, т. е. быть сточены наискось; это можно легко сделать обыкновенным бруском (лучше — карборундовым) при обильном смачивании водой. Если при шлифовке фаска сотрется, ее надо обязательно возобновить.

Быстрее всего шлифует карборунд вследствие своей большой твердости, хуже — корунд, или обыкновенный наждак. Если нет и наждака, то придется прибегнуть к обыкновенному просеянному песку (конечно, в последнем случае надо быть готовым к большой потере времени).

Шлифующий материал (абразив) нужно иметь различной крупности; самый крупный (№ 60—80) употребляется только для грубой шлифовки (обдирки), при помощи которой получают в стекле нужное сферическое углубление. Кроме самого крупного «номера», нужно иметь еще ряд сортов мельче для более тонкой и самой тонкой шлифовки. Желательно иметь два более крупных сорта,— № 120 и 200. Для самой тонкой шлифовки необходимы наиболее мелкие сорта, так называемые «минутники»: 1-, 5-, 15-, 30- и 60-минутные.

Если последних достать не удастся, то придется приготовить их самому из наждака, растертого при первоначальной, грубой шлифовке. Для отделения самых грубых (крупных) частиц (примерно № 120 и 200) нужно иметь соответствующие сита, более же мелкие отделяются отмучиванием. Отмучивание производится таким образом. В объемистую и достаточно высокую банку (не ниже 40 см) кладут стертый карборунд или наждак (ни в коем случае не оба вместе!), наливают почти до краев водой, взбалтывают и дают отстояться. Сливая воду через час, полчаса, четверть часа и т. д. в другие, совершенно чистые посудины, разделяют смесь на фракции, состоящие из частиц все более и более мелких, соответственно числу минут, в течение которых они оставались в воде во взвешенном состоянии. Самая мелкая фракция будет, конечно, 60-минутная (т. е. осевшая из воды, слитой после 1 часа отстаивания), самая крупная — 1-минутная. Минутники лучше подвергнуть повторному отмучиванию, чтобы наверняка очистить от более крупных частиц, которые могли случайно в них попасть.

Для изготовления полировальника необходимо полкилограмма смолы и столько же канифоли. Смола лучше всего древесная («пек»), но ее можно, без особого ущерба, заменить и простым асфальтом (гудроном). Самое главное — придать смоле нужную твердость, что достигается прибавлением достаточного количества канифоли. Дальше мы будем подробнее говорить о составе смолы.

Полировка производится мельчайшим порошком красной окиси железа, лучшие сорта которого называются «крокусом». Лучший крокус можно приготовить обжигом щавелевокислого железа. Желтый порошок щавелевокислого железа насыпают тонким слоем на железный лист и ставят в горячо протопленную печь, где он быстро темнеет и начинает тлеть. Через 1—2 минуты все органическое вещество сгорает и остается красно-бурый мельчайший порошок окиси железа. Настоящий крокус можно, впрочем, заменить даже обыкновенной мумией в порошке — красной краской, употребляемой, между прочим, для грунтовки крыш. Самое главное, чтобы в крокусе не было крупных частиц, которые при полировке непременно исцарапают зеркало. Поэтому его надо обязательно предварительно отмучивать и для работы брать только самую верхнюю часть порошка, осевшего после взбалтывания с водой. Кроме того, не лишне перед употреблением крокус растирать, лучше всего, одним стеклом на другом стекле несколько большего размера. Чтобы

стекла плотно соприкасались, их надо предварительно пришлифовать друг к другу 15-минутным наждаком.

Для изготовления зеркала нужно еще достать немного скипидара и станиоля (оловянной бумаги, в которую завертывают шоколад). О материалах, нужных для остального, мы скажем ниже.

Самое главное для шлифовки и полировки — иметь устойчивый стол. Он может быть обыкновенной высоты, но как можно меньших размеров, чтобы можно было, ходя вокруг, легко доставать руками до середины. Вместо стола часто советуют пользоваться бочкой, наполненной для устойчивости песком, кирпичами и пр.; годится крепкий ящик и т. п. Кроме того, нужна квадратная толстая гладко оструганная доска, немного большего размера, чем будущее зеркало; на ней укрепляют один из стеклянных дисков при помощи четырех шурупов, пропущенных в бутылочные пробки или, лучше, продетых сквозь резиновые трубки.

Чтобы держать обрабатываемое стекло, нужно сделать деревянную ручку в виде кружка диаметром в 8—12 см (в зависимости от размера изготовляемого зеркала), к которому в центре привинчена «пуговка» в 2—3 см толщиной и 4—5 см высотой. Верхний край кружка, а также и «пуговка» должны быть хорошо закруглены, чтобы при работе они не натирали руку. Ручку приклеивают к диску следующим образом. Среднюю часть диска (если он не шлифован) надо заматировать наждаком средней крупности, разогреть диск и, смазав его слегка скипидаром, приложить к нему ручку, на которую предварительно налита растопленная смола. Пока смола еще не застыла, надо постараться придать ручке центральное положение. Обычно она держится очень хорошо. Чтобы снять ручку, достаточно ударить по ней сбоку, не сильно, но резко. Смола отличается хрупкостью, и потому при резком ударе ручка отлетает. Более медленно действующая сила (нажим), напротив, не отламывает ручку, вследствие вязкости смолы.

Для изготовления полировальника нужен «фасетник», которым на теплой смоле выдавливают канавки (см. дальше). Он состоит из деревянного бруска квадратного сечения, толщиной около 2.5 см и длиной немного больше диаметра зеркала. С двух противоположных сторон к нему привинчивают тонкие (около 5 мм) планочки около 3.5 см шириной так, что с одной стороны они выдаются на 10 мм. Фасетник будет иметь, таким образом, вид желобка, выдающиеся бортики которого служат для выдавливания параллельных канавок в смоле. Я предпочитаю, впрочем, обходиться без фасетника, «собирая» полировальник из квадратных плиточек смолы, заготовленных заранее.

Наконец, для испытания и контроля зеркала нужно иметь маленькую электрическую лампочку или керосиновую лампу с узким, плоским фитилем, несколько гладко оструганных деревянных брусков небольшого размера, лезвие для безопасной бритвы и тонкую иглу.

## 2. Шлифовка

Первая часть работы состоит в том, чтобы вышлифовать в стеклянном диске нужное углубление, т. е. придать его поверхности вогнутость необходимой кривизны.

Способ шлифования необычайно прост. Укрепим один из стеклянных дисков на доске, положенной на рабочий стол (и, если нужно, то укрепленной на нем, в свою очередь), как сказано, четырьмя шурупами. Насыпав на него с полчайной ложки карборунда или наждака № 60 и смочив водой, кладем сверху второй диск и, нажимая сильно, но равномерно, начинаем двигать его то к себе, то от себя, вместе с тем медленно двигаясь вокруг стола. Главное состоит в том, чтобы двигать верхний диск по нижнему по прямым линиям и по всем направлениям, но, по возможности, так, чтобы центр его каждый раз проходил над центром

нижнего диска; тогда легче всего получить с самого начала правильное сферическое углубление. Но для этого нужно еще, чтобы, во-первых, каждое движение происходило по новому направлению и, во-вторых, чтобы круги все время вращались друг относительно друга. Поэтому шлифовку нужно вести так: сделав движение («штрих») от себя, подвинуться вокруг стола, продолжая крепко держать диск, затем сделать штрих к себе и, перед тем как снова подвинуться вокруг стола, отпустить диск на время этого движения вокруг стола. Таким образом, с каждым шагом вокруг стола, верхний диск будет чуть-чуть поворачиваться относительно нижнего, а работающий будет в то же время медленно обходить вокруг обоих стекол, и штрихи будут совершаться по всем «румбам».

В результате верхнее стекло получит вогнутость, а нижнее — соответственную выпуклость. Это объясняется тем, что верхнее стекло, сдвигаясь с нижнего, соприкасается с ним тем меньшей поверхностью, чем сильнее оно сдвинуто (чем длиннее штрих); это значит, что его вес (плюс давление рук работающего) приходится на тем меньшую площадь. В то же время край верхнего стекла, свисая с нижнего, перевешивает тем сильнее, чем больше сдвиг. Легко понять, что в результате максимум давления будет приходиться на среднюю часть верхнего стекла и на края нижнего. А чем сильнее давление, тем, конечно, сильнее стирание.

Заменяя стирающийся карборунд свежим, будем шлифовать, пока не получим достаточного углубления. Величину этого углубления (или стрелку) $a$ нужно заранее вычислить по приближенной формуле:

$$a = \frac{R^2}{4F},$$

где $R$ — полудиаметр (радиус) зеркала, а $F$ — его фокусное расстояние. В случае 150-миллиметрового зеркала с фокусным расстоянием в 1500 мм будем иметь:

$$a = \frac{75^2}{4 \times 1500} = \frac{5625}{6000} \approx 0.9 \text{ мм.}$$

Значит, центр нашего зеркала должен быть углублен относительно краев приблизительно на 0.9 мм. Измерить это углубление можно хорошей линейкой. Положив ее ребром поперек нашего будущего зеркала, мы увидим просвет, ширину которого в центре проще всего определить подкладывая узкие бумажки. Толщина одной бумажки (обычно равная 0.05—0.10 мм) определяется, если разделить толщину толстой пачки (ее можно измерить просто миллиметровой линейкой) на число листов в пачке.

Форма образующегося углубления больше всего зависит от длины штриха, т. е. от того, насколько верхнее стекло сдвигается при шлифовке с нижнего. Первое время можно шлифовать длинными штрихами, передвигая верхнее стекло в каждую сторону на $^1/_3$ и даже на $^1/_2$ его радиуса. При такой длине штриха образование углубления идет быстрее, но средние части будущего зеркала получают слишком большую кривизну по сравнению с краевыми. Чтобы исправить этот недостаток, незадолго до конца шлифовки, т. е. до достижения нужной кривизны, надо перейти на короткий штрих, передвигая стекло не более чем на $^1/_4$ радиуса в каждую сторону.

Заранее трудно сказать, сколько времени уйдет на то, чтобы вышлифовать нужное углубление. Начинающим для этого требуется обычно не менее 10 часов.

Когда измерение покажет, что углубление достаточно, мы переходим к следующей части работы — к тонкой шлифовке. Она имеет целью, во-первых, сгладить грубый мат, покрывающий поверхность нашего диска, и тем подготовить его к полировке и, во-вторых, насколько возможно более приблизить форму поверхности к сферической. Для этого воспользуемся более мелкими сортами карборунда, корунда или наждака. Тонкую шлифовку ведут так же, как и грубую, но избегая нажимать на стекло. Начиная с 1-минутника, надо следить за тем, чтобы штрихи не были длиннее $^1/_4$ диаметра зеркала. Затем постепенно переходят ко все более и более тонким сортам, коль скоро все неровности от предыдущего более грубого сорта изгладились. Чем мельче карборунд или наждак, тем медленнее он шлифует, и тем осторожнее надо работать, чтобы не повредить стекло. Самое важное здесь — следить за тем, чтобы сошлифовывание шло равномерно во всех частях зеркала. Задача теперь не в увеличении углубления, а лишь в сглаживании поверхности. Больше всего надо остерегаться слишком увеличить углубление в середине, иначе зеркало может так крепко присосаться к нижнему стеклу («шлифовальнику»), что вся работа погибнет. Приближение этой опасности легко заметить по тому, что края начинают при шлифовке «заедать», как бы цепляясь. При нормальной шлифовке движение должно происходить легко и плавно, «как по маслу». Исправить дело можно только укорочением штриха, а когда это не помогает — возвращением к более грубой шлифовке более крупным сортом абразива. Очень действительное средство — поменять местами шлифовальник и зеркало: после нескольких минут шлифовки «наоборот» (т. е. шлифовальником сверху по зеркалу) углубление в центре зеркала приобретает меньшую кривизну, и края перестают заедать.

Полезно время от времени при шлифовке делать десяток-другой совершенно неправильных движений зеркалом по шлифовальнику; это сглаживает мелкие местные неправильности поверхности.

Совершенство тонкой шлифовки очень важно для дальнейшей работы. Только тщательно отшлифованное зеркало хорошо отполируется. Недошлифованное же стекло сохраняет ямки от более крупных зерен абразива, не приобретая из-за них достаточно хорошей полировки. Эти ямки остаются на поверхности в виде массы белых точек, хорошо заметных при соответственном освещении, особенно в лупу, и производящих крайне вредное действие в готовом инструменте. Эти ямки, несмотря на их мелкость, невозможно уничтожить никакой полировкой, хотя бы она продолжалась в десять раз дольше, чем обычно. Поэтому, прежде чем переходить к более тонкому сорту наждака, нужно тщательно осмотреть зеркало (лучше в лупу) и убедиться в том, что мат, покрывающий его поверхность, вполне однороден, т. е. что нет более крупных ямок. Для последних порций тонкой шлифовки лучше брать не карборунд, а наждак, который оставляет менее глубокие ямки и лучше подготовляет стекло к полировке.

По окончании тонкой шлифовки стекло должно стать полупрозрачным, как облитое молоком, и его поверхность должна довольно ярко блестеть от косых лучей света.

Самое существенное условие при этой и при всех последующих работах — чистота. Надо твердо запомнить, что одно единственное более крупное зернышко или твердая соринка, попавшие между стеклами, могут наделать неизгладимые царапины. Поэтому надо привыкнуть тщательно обмывать зеркало, нижнее стекло (шлифовальник), мыть стол и руки при каждом переходе от более крупного сорта абразива к более мелкому. Точно так же нужно оберегать все материалы от засорения и стараться не рассыпать в рабочем помещении наждака или карборунда.

## 3. Полировка и фигуризация

Точные оптические поверхности полируются исключительно на смоле. Смола обладает совершенно незаменимыми для этого свойствами. Дело в том, что она при обыкновенной температуре способна медленно изменять свою форму под действием небольшой силы, например, прижимания руками. Поэтому, когда слой смолы находится в соприкосновении с трущейся о него поверхностью полируемого стекла, смоляная поверхность постепенно приобретает форму поверхности стекла, но может и меняться, в зависимости от характера трения, например, от скорости движения, длины штриха и пр. Кроме того, смоляной полировальник удерживает на своей поверхности тончайший слой полирующего материала (в нашем случае — крокуса), чем обеспечивается самый процесс полировки, в отличие от шлифовки, при которой шлифующие частицы не удерживаются шлифовальником на месте, а катаются между ним и шлифуемой поверхностью, производя, в сущности, выкрашивание стекла, оставляющее после себя мат, а не делая поверхность гладкой и блестящей, как при полировке.

Полировальник делается из смолы, налитой на выпуклую сторону стеклянного диска, служившего для шлифовки (шлифовальника). Разогрев смолу и прибавив к ней канифоли до нужной твердости (надо стараться не перегреть, пользуясь как можно более легким жаром), наливают растопленную смолу слоем толщиной 4—5 мм на горизонтально положенный и предварительно подогретый шлифовальник. Чтобы удержать смолу, делают бортик из мокрой бумаги. Когда смола загустеет, обрывают бумажный бортик и делают фасетником на ровной поверхности смолы прямые канавки в двух взаимно перпендикулярных направлениях, разбивающие ее на правильные квадратики («фасетки») со стороной около 25 мм. Эти канавки очень важны: по ним при полировке распределяется вода с крокусом, а медленно оседающая («текущая») смола лучше приспособляется к форме поверхности зеркала, чем достигается более равномерная и быстрая полировка. Существенно, чтобы фасетки не были расположены симметрично относительно центра полировальника; нужно поэтому предварительно наметить центр на смоле и делать канавки, начиная с середины, так, чтобы центр полировальника пришелся в углу одной из фасеток. При помощи фасетника это сделать нетрудно.

Теперь нужно придать поверхности полировальника выпуклую форму, в точности соответствующую вогнутости зеркала. Для этого полировальник размягчают в горячей воде, накладывают сверху смоченное мыльной водой и тоже разогретое зеркало и двигают его во все стороны с легким нажимом до тех пор, пока мягкая поверхность смолы не примет формы зеркала и не станет соприкасаться с ним каждой своей точкой. Лучше смазать зеркало жидкой смесью крокуса с водой, иначе оно может прилипнуть к теплой смоле. Если фасетки при этом испортятся, их надо подправить фасетником. В большинстве случаев в течение изготовления полировальника его приходится несколько раз подогревать в теплой воде. Затем полировальник оставляют охладиться, не снимая с него зеркала (разумеется, позаботившись, чтобы оно лежало точно край в край). Чтобы полировальник не высох, накрывают все сверху мокрым полотенцем. Поверхность готового полировальника имеет вид, изображенный на рис. 2.

Описанный способ изготовления полировальника имеет ряд недостатков; гораздо лучше упомянутый выше способ, состоящий в следующем. Растопленную смолу наливают на мокрую пергаментную бумагу, разложенную на горизонтальном стекле, слоем в 4—5 мм толщиной. Пока смола еще мягка, на ней фасетником выдавливают канавки, разбивающие ее на квадратики. По остывании, снимают пластинку смолы с бума-

ги и разламывают ее на квадратики, которые раскладывают на слегка нагретом шлифовальнике, предварительно расчерченном карандашом. От тепла квадратики размягчаются, прилипают к стеклу и принимают его выпуклость. Кажущийся на первый взгляд сложным, этот способ на самом деле проще, а главное, дает гораздо лучшие результаты.

Остывший полировальник обычно имеет неправильные края от выдавившейся смолы или от торчащих концов смоляных квадратиков. Все лишнее «состругивают» быстрыми движениями ножа. Если края фасеток окажутся неправильными, то их также подстругивают лезвием безопасной бритвы, стараясь, чтобы канавки между ними были одинаковой ширины и везде доходили до самого стекла. Профиль канавок должен быть клиновидным (кверху шире, книзу уже).

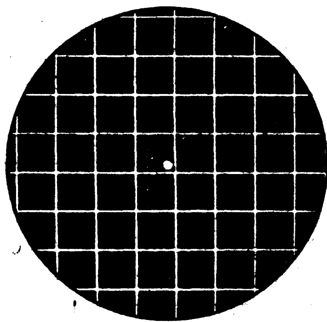


Рис. 2. Вид готового полировальника (сверху) диаметром в 200 мм. Канавки разбивают поверхность смолы на квадратики или «фасетки». Положение центра полировальника отмечено белой точкой.

Здесь пора сказать, что при полировке не только уничтожается мат, оставшийся от шлифовки, но и происходят незначительные изменения формы поверхности, с помощью которых ей придается окончательная точность («фигуризация»). Существует только один вид поверхности, которая может находиться в соприкосновении с другой такой же поверхностью во всякое время их скольжения друг по другу; это — сфера, или шаровая поверхность. Любые иные поверхности могут соприкасаться лишь в строго определенных относительных положениях. Вот почему «заедает» при шлифовке шлифовальник, если он или шлифуемое зеркало не имеют сферической формы. Однако получить в результате шлифовки вполне точную сферическую поверхность почти никогда не удается (да это и не нужно, так как в начале полировки она все равно могла бы снова испортиться). Поэтому начинают полировать стекло, обычно, далеко не сферической формы, т. е. не могущее в любом положении прилегать к полировальнику. Однако, по мере того как оно сполировывается, его поверхность все более и более приближается к сферической, и полировальник, в силу «текучести» смолы, постепенно приспособляется к ней, пока поверхность не становится уже точной сферой. Об этом в первом приближении можно судить опять-таки, как при тонкой шлифовке, по плавности движения, по отсутствию заедания.

Полировка мало отличается от шлифовки. Совершенно так же, как и там, двигаясь вокруг стола, делают штрихи около $^1/_4$ диаметра, время от времени переходя на неправильные движения, о которых мы говорили при описании шлифовки. Сначала, по только что объясненным причинам, зеркало будет двигаться неравномерно, цепляясь то тут, то там; но как только поверхности зеркала и полировальника станут ближе к сфере, полировка пойдет «как по маслу». Смесь крокуса с водой образует в канавках густую красную пену, и небольшой порции крокуса хватит надолго, если время от времени добавлять по нескольку капель воды. Поверхность полировальника окрашивается крокусом в кирпично-красный цвет, что указывает на хорошее качество смолы.

Не нужно класть слишком много крокуса, так как его избыток может только повредить. Крокус, отмученный как сказано выше и, лучше, растертый с водой, берут чистой кисточкой и наносят на полировальник, сдвигая зеркало вбок. Крокуса должно быть столько, чтобы зеркало окрашивалось им чуть-чуть, оставаясь довольно прозрачным.

Громадное значение имеет твердость смолы. Если смола слишком тверда или слишком мягка, то почти невозможно получить хорошего

результата. На производстве приготовляют целый ряд сортов полировочной смолы различной твердости, применяя тот или другой из них, в зависимости от обстоятельств. Большое значение имеет температура, изменяющая твердость смолы,— притом температура не только помещения, но и зависящая от трения стекла о смолу, которое различно при различном количестве крокуса, при различной скорости движения и пр. Любителю, конечно, приходится в значительной степени гадать и пробовать. Особенно неприятно, если смола слишком мягка (частая ошибка у начинающих). Слишком мягкая смола никогда не даст сферической поверхности, но сделает ее гиперболической, знакомой уже нам по шлифовке слишком длинными штрихами. Для ориентировки можно посоветовать до изготовления полировальника испробовать твердость смолы следующим образом: большую каплю смолы остудить в воде комнатной температуры и нажать на нее ногтем с силой, с которой вдавливается кнопка в доску. За 10—15 секунд на смоле должно отпечататься небольшое углубление. Если оно образуется слишком легко или, напротив, его почти не останется, смола не годится. К слишком мягкой смоле надо добавить канифоли, к слишком твердой — смолы. Разумеется, подобное испытание чрезвычайно грубо, но оно все же даст первое представление о твердости смолы. Нужно, однако, быть всегда готовым к тому, что придется, как это ни неприятно, переделать полировальник, если в ходе работы выяснится, что твердость смолы не подходит.

Через 20—30 минут работы поверхность зеркала уже заблестит. Однако до конца полировки еще далеко, в лучшем случае, часов 10. Если форма поверхности очень далека от сферы, то в течение долгого времени движение не станет плавным. Может оказаться поэтому более выгодным снять с полировальника смолу (это делается на холоду просто ножом, которым соскребают или сбивают смолу, колющуюся от быстрых движений) и вернуться к тонкой шлифовке, при которой обращают внимание на длину штриха. Между прочим, важно, чтобы при тонкой шлифовке не было избытка абразива; последнего, самого мелкого, минутника кладут чуть-чуть, иначе избыток его может повредить форме поверхности. Громадное значение имеют также и неправильные движения, о которых мы говорили уже неоднократно. Их значение состоит в том, чтобы ликвидировать местные неправильности поверхности, получающиеся вследствие того, что одни и те же места шлифовальника (или полировальника) и зеркала трутся друг о друга. В результате поверхность получается не плавной, а разбивается на «зоны» (чаще всего кольцеобразные), различающиеся своей формой. Эти зоны иногда бывают необычайно резко выражены.

Сначала можно особенно не думать о форме поверхности зеркала. Если шлифовка была удачна и полировка идет нормально, зеркало само постепенно станет сферическим. Понемногу блеск будет все усиливаться, а матовых белых точек, представляющих крошечные ямки, оставленные шлифовкой, будет становиться все меньше и меньше. В конце концов наступит момент, когда эти точки станут совсем редкими. Чтобы убедиться в этом, нужно рассмотреть начисто вытертую чистой тряпочкой поверхность зеркала при свете яркой лампы; точки лучше всего заметны при косом освещении, по соседству с отражением самого волоска электрической лампочки.

Если зеркало моют, то ни в коем случае нельзя делать этого слишком холодной или слишком теплой водой: колебания температуры, изменяя форму зеркала и твердость смолы, будут очень вредно отражаться на полировке. Надо стараться, чтобы температура зеркала, полировальника и помещения менялась как можно меньше.

При перерыве работы (конечно, если он не превышает суток), зеркало надо оставлять на полировальнике, позаботившись, чтобы оно

не высохло. Проще всего положить его вместе с полировальником в таз, на дно которого налить воды, и все плотно прикрыть сверху. В течение полировки полезно делать недолгие перерывы, оставляя зеркало на полировальнике. При этом смола лучше прилегает к стеклу.

Теперь, когда поверхность зеркала почти отполирована, наступает самая трудная, но зато и наиболее интересная часть всей работы: придание поверхности зеркала точной формы, или «фигуризация». Здесь необходим уже непрерывный оптический контроль, или так называемое рабочее испытание.

Сферическое зеркало должно давать совершенно правильное, свободное от аберраций, изображение точки, находящейся в центре его кривизны. Из этого ясно, что для испытания зеркала нужно поместить в центр его кривизны светящуюся точку и исследовать изображение ее, образованное зеркалом.

Светящуюся точку («искусственную звезду») проще всего получить, заслонив яркий источник света непрозрачным экраном с очень маленьким отверстием. Лучше всего взять кусочек станиоля, или, что хуже, черной бумаги, и проколоть отверстие кончиком очень тонкой и острой иголки. Источник света должен быть как можно ярче; впрочем, если нет электрической лампочки, можно обойтись и керосиновой лампой с плоским фитилем. Лампочку надо закрыть со всех сторон, чтобы не проходил свет (например, жестяным колпаком), оставив маленькое окошечко, в которое будет вставляться «звезда» (кусочек станиоля с проколом). Если электрическая лампочка не матовая, то придется подложить кусочек матового стекла. Это, к сожалению, сильно ослабит яркость. Поэтому в более усовершенствованных установках для испытания между лампочкой и отверстием ставят линзу, которая собирает лучи, наполняя светом отверстие; иначе яркие лучи непосредственно от волоска лампочки упадут только на малую часть зеркала.

Приготовив все, как сказано, нужно еще запастись сильной лупой (увеличивающей не менее чем в 15 раз), а еще лучше — сильным окуляром от микроскопа или от зрительной трубы, и приступить к предварительному испытанию зеркала. Для этого его надо поставить на ребро на расстоянии двух фокусных расстояний (в случае 150-миллиметрового зеркала это будет 2.5—3.0 м) от лампы, под прямым углом к падающему от нее свету. Чтобы зеркало держалось и могло наклоняться во все стороны, лучше устроить какую-нибудь простую подставку.

Изображение лампы, образованное зеркалом, окажется тогда где-нибудь по соседству с самой лампой; его нужно поймать глазом, а лучше — на кусочек бумаги или на матовое стекло, как при наводке на фокус фотоаппарата. Передвигая лампу, надо добиться того, чтобы изображение оказалось совсем близко к ней (удобнее — слева, если глядеть на зеркало) и на одном с ней расстоянии от зеркала. Легко понять, что тогда условия будут очень близки к тем, при которых правильное сферическое зеркало должно давать вполне совершенные изображения, без аберрации. Впрочем, в нашем случае особенно заботиться о расстоянии нечего; гораздо важнее, чтобы изображение было как можно ближе к прямой, соединяющей центры лампы и зеркала, т. е. к оптической оси, иначе появятся аберрации, не зависящие от формы поверхности, а вызывающиеся различным наклоном лучей к поверхности зеркала.

В большинстве случаев бывает, что зеркало вначале далеко от идеальной сферы и изображение, образованное им, имеет различные недостатки, по большей части хорошо заметные. Отклонения поверхности зеркала от желаемой («ошибки поверхности») заключаются в неодинаковости кривизны различных частей: либо середина слишком углублена, либо краевые части загнуты чересчур внутрь или, напротив, развернуты. Эти неправильности могут захватывать большие части

зеркала, а могут ограничиваться незначительными участками, почти всегда кольцевой формы («зональные ошибки»).

Будем рассматривать изображение лампочки (пока ничем не закрытой) в лупу или в окуляр. Если, придвигаясь или отодвигаясь, можно найти такое положение, при котором хорошо видны подробности («установить», или «навести на фокус»), это значит, что зеркало неплохо и довести его до полного совершенства не составит особого труда. Но главное значение для оценки качеств зеркала имеет вид изображения при неточной установке на фокус («внефокальные изображения»). Только в том случае, если зеркало имеет точно сферическую поверхность, изображение будет выглядеть одинаково при сдвигании окуляра в обе стороны от точной установки на фокус, т. е. по направлению к зеркалу и от него. Если же вид изображения при том и другом положении различен, то зеркало не имеет сферической поверхности, т. е. различные его части обладают различной кривизной. Здесь надо различать два основных случая: 1) средние части зеркала имеют меньшую кривизну, чем наружные, и 2) кривизна наружных частей меньше, чем внутренних. В первом случае очертания (контур) изображения остаются резкими при придвигании глаза с окуляром к зеркалу, а при удалении изображение расплывается кнаружи в «сияние» с более яркой средней частью, нередко сохраняющей подробности (например, детали витков накаленной спирали электрической лампочки). Во втором случае будет происходить как раз обратное, т. е. изображение по краям будет расплываться при придвигании окуляра, а при отодвигании резкие наружные контуры будут сохраняться.

Если разница в кривизне средних и наружных частей зеркала невелика, то различие в виде изображения позади и впереди фокуса будет мало заметно, и понадобятся уже более тонкие приемы, чтобы обнаружить его. О них мы сейчас скажем.

Предварительное исправление дефекта очень просто: если средние части зеркала имеют меньшую кривизну, чем наружные, их надо углубить, продолжая полировку более длинными штрихами. При обратном недостатке надо укоротить штрих. Если твердость смолы выбрана удачно, то обычно в течение 2—3 часов удается привести зеркало в такое состояние, что оно начинает давать очень хорошие изображения, и аберрация, сказывающаяся в различии вида изображения впереди и позади фокуса, становится при таком испытании незаметной. Тогда нужно применить более тонкий способ испытания. Перед лампой ставят упомянутую выше заслонку с отверстием (искусственная звезда) и изображение последнего исследуют с помощью лупы или окуляра. В этом случае малейшее отклонение формы зеркала от сферической скажется гораздо резче. Если при придвигании окуляра к зеркалу маленькое изображение «звезды» будет расширяться в резко очерченный кружок (обычно из концентрических колец вследствие дифракции) с более темной серединой, а при отодвигании середина расширяющегося кружка будет ярче краев, которые будут размыты, то средние части зеркала имеют меньшую кривизну, чем наружные. При обратной картине наружные части зеркала имеют меньшую кривизну. Если же различия в виде изображения впереди и позади фокуса окажутся мало заметными, то поверхность зеркала очень близка к сфере, и пора перейти к окончательной проверке при помощи «метода Фуко», или, иначе, «теневого испытания».

Способ Фуко дает возможность воочию видеть мельчайшие ошибки отдельных частей поверхности зеркала и безошибочно указать способ их уничтожения, а также постоянно наблюдать за ходом полировки. Устройство, служившее для только что описанного испытания, вполне годится и для теневого испытания. Нужно лишь добавить к нашему «оборудованию» «нож Фуко», которым, попросту, будет служить лезвие

для безопасной бритвы, укрепленное стоймя на устойчивой подставочке, могущей легко передвигаться по столу. Нож Фуко служит для «разрезания» пучка (конуса) лучей, отраженных зеркалом, т. е. для затенения зеркала; по характеру теней можно точно судить о форме поверхности зеркала.

Поместившись, как прежде, перед изображением лампочки, нужно поставить приделанное к подставке лезвие так, чтобы оно было около самого изображения. Имея лампочку справа от себя, нож надо пристроить так, чтобы он был слева от изображения; тогда будет удобно смотреть правым глазом. Подставку для лезвия можно сделать из гладко оструганного деревянного брусочка с наклеенной на него пробкой, в разрез которой вставляется вертикально лезвие. Поставив этот брусочек на другой, большего размера, можно будет удобно передвигать лезвие во все стороны. Приставив к лампе заслонку с отверстием (желательно, чтобы его поперечник не превосходил 0.1 мм) и поймав глазом изображение «звезды», надо осторожно подвести край лезвия совсем близко к нему. Тогда, не теряя блестящей точки из виду, следует приблизить глаз к зеркалу; при этом изображение начнет, конечно, расплываться, пока не займет всего зеркала, которое покажется нам ярко светящимся кругом. Это будет значить, что наш глаз уже совсем близко к тому месту, где находится изображение светящегося отверстия (т. е. пересечение лучей, отраженных от зеркала,— вершина конуса лучей), и все лучи, отраженные зеркалом, вошли в зрачок. Легко понять, что, загораживая часть пучка лучей нашим лезвием, мы увидим часть зеркала затемненной; на нем появятся «тени Фуко». Это будет именно та часть зеркала, лучи от которой загорожены ножом и не попали в глаз.

Рис. 3 объясняет, как по этим теням «читать» форму поверхности зеркала. Картина теней будет различна в зависимости от положения ножа и формы поверхности зеркала. Если зеркало обладает точно сферической поверхностью, т. е. если все отраженные лучи от светящейся точки будут сходиться в центре кривизны зеркала, то, как легко понять, нож, вдвигаемый в конус сходящихся или расходящихся лучей, будет постепенно гасить один луч за другим, вызывая образование тени с совершенно ровным прямым краем. Эта тень будет двигаться в ту же сторону, что и нож, если последний находится между изображением (центром кривизны) и зеркалом (рис. 3а); оно будет двигаться навстречу ножу, если он по другую сторону изображения (кнаружи), после перекреста лучей. Установив нож точно против изображения, мы сможем погасить все зеркало сразу, едва-едва подвинув нож в сторону, как бы коснувшись изображения; столь узок в этом месте пучок лучей (рис. 3б).

Всякая другая поверхность даст совершенно иную картину теней, и где бы мы ни помещали нож, вся поверхность зеркала не погаснет сразу, потому что отраженные им лучи не сходятся в одной маленькой точке.

Пусть у зеркала углублена середина, т. е. кривизна там больше и, следовательно, отраженные от нее лучи пересекаются ближе к зеркалу, чем лучи, идущие от краевых частей. Тогда, как показано на рис. 3в, нож, затенив левый край зеркала, загородит еще лучи от правой половины центрального углубления, вызвав там тень серповидной формы. Иначе говоря, мы увидим углубление в зеркале как бы освещенное лучами, падающими в направлении, противоположном движению ножа (в данном случае — справа; нож движется слева направо).

Если зеркало имеет в середине не углубление, а возвышение, то картина будет обратная: тень будет появляться сначала слева от центра, т. е. мы увидим как бы возвышение, освещенное косым светом, идущим опять-таки справа (рис. 3г).

Точно так же мы легко обнаружим и кольцевой валик, канавку и

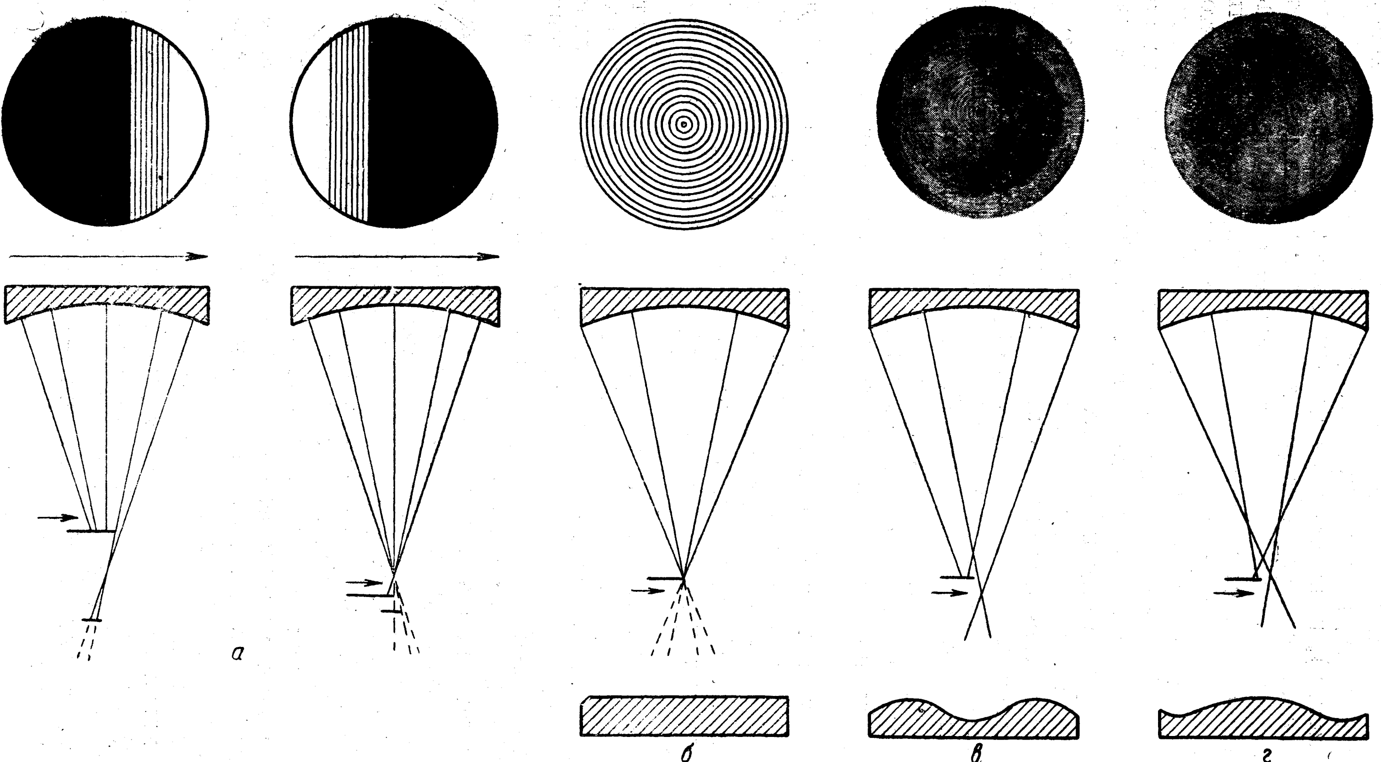



Рис. 3. Вид теней Фуко, даваемых поверхностями различного рода.

*а* — правильная сфера: все лучи, исходящие из центра кривизны, сходятся там же, образуя изображение светящейся точки; слева нож, двигаясь слева направо, пересекает конус лучей впереди изображения; на зеркало в том же направлении надвигается тень с прямым краем; справа — нож позади изображения, такая же тень надвигается навстречу его движению; *б* — нож точно против точки пересечения лучей, у вершины конуса лучей (изображения точки); все зеркало гаснет равномерно и кажется совершенно плоским; *в* — средние части зеркала углублены в сравнении с краями, отчего центральные лучи пересекаются ближе к зеркалу, чем краевые; при пересечении конуса лучей ножом получаются характерные тени, которые возникли бы от освещения поверхности, показанной в самом низу, косыми лучами, идущими справа; *г* — вид теней, наблюдаемых в случае, если зеркало имеет меньшую кривизну в середине, чем по краям; тени ясно показывают, что зеркало имеет форму, изображенную в виде схематического профиля внизу рисунка.

всякую иную неоднородность поверхности. После некоторого упражнения мы легко научимся «читать» эту теневую картину.

Для успеха испытания надо иметь устойчивую установку (при малейшей тряске все будет мигать, и работа станет почти невозможной). В комнате должно быть, по возможности, темно (надо хорошо закрыть со всех сторон лампу), и, наконец, не должно быть токов воздуха, вызывающих пробегающие перед глазами тени, которые сильно мешают.

Теневое испытание чрезвычайно чувствительно: самые незначительные изменения формы поверхности, происходящие, например, от теплоты руки, сейчас же замечаются с его помощью. Поэтому очень важно, чтобы во время работы зеркало имело постоянную температуру. Температура, впрочем, неизбежно повышается от трения при полировке; поэтому часто приходится замечать, что поверхность меняется в начале испытаний, пока зеркало еще не остыло.

Овладев методом теневого испытания, мы легко применим его к тому, чтобы «выправить» поверхность зеркала. Каковы бы ни были недостатки поверхности, их можно устранить правильным полированием (для чего иногда требуется достаточное терпение). Меняя способ полировки в соответствии с теневой картиной, мы будем следить за изменением поверхности, пока не получим картины, изображенной на рис. 3а, т. е. тени с прямым краем, и совершенно равномерного погасания всего зеркала, когда нож прикасается к самому изображению светящегося отверстия.

Чувствительность метода Фуко зависит от ряда причин и в первую очередь от диаметра светящегося отверстия («звезды»). Чем уже отверстие, тем резче теневая картина, тем меньшие отклонения поверхности можно заметить. Однако при очень малом отверстии освещение становится недостаточным, а яркость света — другое важнейшее условие отчетливости теневой картины. Выход из этого затруднения найден известным советским оптиком Д. Д. Максутовым, применившим, вместо круглого отверстия, узкую щель, которая, при одинаковой ширине, пропускает во столько раз больше света, во сколько раз ее длина больше диаметра отверстия. Изготовление щели нетрудно; лучше всего процарапать ее острым ножом на посеребренном стеклышке. Ширина щели должна быть 0.02—0.03 мм; длина — около 5 мм.

Дальнейшим условием точности является наблюдение теневой картины вблизи от центра кривизны, т. е. как можно ближе к изображению отверстия или щели. При небольших отклонениях от сферической поверхности, аберрации, т. е. различия в расстояниях от зеркала до пересечения лучей, отраженных разными его частями, не превышают 1 мм, а может быть, и меньше. Поэтому заметить тени можно только в том случае, если нож помещен достаточно близко к плоскости изображения, иначе может показаться, что зеркало идеально сферическое, без всяких рельефных теней. Точно так же и край тени будет прямым, если нож достаточно удален от плоскости изображения, хотя бы зеркало и обладало заметными отклонениями от сферической поверхности. Некоторое упражнение быстро поможет разобраться во всем этом. Однако надо твердо запомнить, что сделать хорошее зеркало можно лишь в том случае, когда работающий научился разбираться в теневой картине; более того, «понять теневую картину — значит сделать хорошее зеркало», как говорил основатель телескопостроения в нашей стране А. А. Чикин.

Основной способ исправления поверхности — подобрать подходящую длину штриха. Нужно твердо помнить, что длинный штрих углубляет среднюю часть зеркала (увеличивает ее кривизну), короткий же, напротив,— его краевые части. Но это правило приложимо лишь к полировальнику подходящей твердости; на слишком мягкой смоле никакими штрихами не добиться правильной поверхности. Кроме того, слишком

мягкая смола, а также и слишком длинный штрих часто вызывают «завал», т. е. сполировывают слишком сильно края зеркала. Завал — очень вредный недостаток, и его надо всячески остерегаться. Одно из хороших средств избежать завала — сделать полировальник немного меньше зеркала. Заметим, что сильный завал часто получается у начинающих при тонкой шлифовке; предупредить его можно тщательным стиранием мокрой тряпочкой или ватой избытка наждака, скопляющегося на краю шлифовальника.

Как бы ни была неправильна форма поверхности, в большинстве случаев ее удается выправить. Но иногда попадаются «упрямые» зеркала, не поддающиеся никаким усилиям. В таких случаях иногда, как это ни досадно, приходится возвращаться к тонкой шлифовке, что, разумеется, обусловливает большую потерю времени. Можно и продолжать полировку «до победного конца», применив так называемую «резку» полировальника, или осторожное соскабливание тонкого слоя смолы с тех мест, которые приходятся против углубления зеркала, например, с середины, если средняя часть зеркала слишком углублена. Скоблить или надрезать лучше всего лезвием для безопасной бритвы; разумеется, после этого полировальник должен быть тщательно обмыт от соскобленной смолы. Этот прием действует очень быстро; поэтому надо почаще контролировать поверхность, иначе легко на месте углубления сделать бугор, и обратно.

Разумеется, рассчитывать при этом сразу на получение правильной поверхности нельзя: обычно возникает много мелких неровностей. Но они не страшны, если общая форма поверхности улучшилась; через 1—2 часа полировки они обычно исчезают, если полировальнику опять придана нормальная поверхность путем размягчения в горячей воде и накладывания зеркала.

Последнее комнатное испытание мы произведем опять-таки по искусственной звезде. Нужно только, чтобы она была как можно меньше, по возможности, не более 0.02—0.03 мм. Проще всего воспользоваться одним из мельчайших отверстий, которые во множестве имеются всегда в станиоле; нарочно же сделать дырочку такого размера очень трудно. Источник света должен быть как можно ярче; годится волосок полуваттной электрической лампочки, но нужно помнить то, что говорилось выше об освещении отверстия: волосок может не «наполнить» светом всего отверстия, если лучи предварительно не собраны линзой. Поэтому, если не удастся устроить этого, придется пожертвовать яркостью, поставив между лампочкой и отверстием матовое стекло.

Рассматривая такую маленькую искусственную звезду в сильный окуляр (не менее 20-кратного, т. е. с фокусным расстоянием, по возможности, не более 10 мм, а лучше около 6 мм), мы должны увидеть совершенно правильный крошечный кружочек без всякого сияния вокруг, но обведенный несколькими бледными кольцами. При малейшем сдвиге с точной установки на фокус, изображение будет расширяться в кружок, состоящий из концентрических колец; вид этого кружка должен быть совершенно одинаков при обоих положениях окуляра (впереди и позади точной установки). Конечно, такое исследование трудно произвести, просто держа окуляр в руке; нужно будет устроить для него подвижную подставочку, позволяющую производить все нужные передвижения (в стороны, вверх — вниз и вперед — назад).

Если удалось достичь такого результата, можно считать работу законченной: зеркало будет работать очень хорошо.

Часто бывает, что изображение искусственной звезды расплывается по краям при придвигании окуляра, что указывает, как мы знаем, на меньшую кривизну (большее фокусное расстояние) краевых частей зеркала. В этом обычно бывает виноват завал, оставшийся незамеченным раньше. Если закрывание узкого края (не более 5 мм) уничтожает

дефект, то проще всего при устройстве трубы иметь это в виду, приладив к зеркалу диафрагму, закрывающую заваленный край; это хотя и вызовет некоторую потерю света, но зато резко улучшит качество изображения.

Описанный нами выше ход работы тщательно и многократно проверен нами с начала до конца; мы не советовали ничего, что не проходило бы через наши руки. Поэтому, мы уверены, что читатель, даже и не имея иного пособия, кроме этой инструкции, сможет при достаточном желании и настойчивости, изготовить безукоризненное зеркало.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПЛОСКОГО ЗЕРКАЛЬЦА

В рефлекторе системы Ньютона конус лучей, отраженных главным зеркалом, выводится в боковое отверстие трубы для рассматривания или фотографирования изображения. Для этого служит вспомогательное маленькое плоское зеркальце, поставленное наклонно к оптической оси телескопа. Применяется также и прямоугольная призма полного внутреннего отражения. Однако изготовить ее несравненно труднее, чем плоское зеркальце, имеющее всего одну рабочую поверхность и не требующее для своего изготовления особенно хорошего стекла. Кроме того, призма, по самому существу дела, менее выгодна, так как может внести в изображение недостатки, от которых свободны зеркала.

Нужно иметь в виду, что качество плоского зеркальца нисколько не менее важно, чем качество главного вогнутого зеркала телескопа. В самом деле, все лучи, собранные главным зеркалом, должны отразиться плоским, и, если его поверхность имеет какую-либо кривизну или неправильности, результат получится такой же, как если бы само главное зеркало обладало соответствующим дефектом. Более того, так как лучи падают на плоское зеркальце под более острыми углами, то всякая ошибка поверхности, т. е. всякое отступление от истинной плоскости, сказывается сильнее, чем в случае главного вогнутого зеркала, на которое лучи падают почти перпендикулярно.

Найти готовый кусок точно плоского зеркального стекла почти невозможно. Поэтому придется приняться за изготовление плоского зеркальца своими силами. Любитель, который уже справился с изготовлением главного зеркала, может и здесь рассчитывать на полный успех.

Кроме точности поверхности плоского зеркальца, имеют значение его размеры и форма (очертания краев). Размеры должны быть так рассчитаны, чтобы наилучшим образом соответствовать главному зеркалу.

1. М а т е р и а л. Надо постараться достать хорошее зеркальное стекло. Наилучшее стекло бесцветно, и только при рассматривании с ребра, обнаруживает желтоватую (не зеленую!) окраску. При малых размерах зеркальца нет нужды в большой толщине; однако стекло не должно быть тоньше 8 мм, так как иначе оно будет гнуться. Большое значение имеет однородность стекла: неоднородное (плохо отожженное или плохо вымешанное при варке) стекло может неправильно покоробиться при обработке и искривляться при колебаниях температуры. Этот недостаток, впрочем, не столь часто встречается в маленьких кусках стекла.

2. Ф о р м а и р а з м е р ы п л о с к о г о з е р к а л ь ц а. Наилучшие результаты получаются тогда, когда плоское зеркальце, стоящее на пути лучей, под углом в 45° к оптической оси, проектируется на главное зеркало кружком. Для этого ему надо придать эллиптические очертания с отношением осей эллипса, равным $1 : \sqrt{2}$, и соответственно скосить края. Такое зеркальце имеет форму ломтика, отрезанного от цилиндра под углом в 45°. Однако изготовление такого зеркальца для начинающего затруднительно. Поэтому на первых порах придется удовлетвориться круглым зеркальцем, изготовить которое несравненно проще.

Однако, поставленное под углом в 45°, оно будет проектироваться на главное зеркало в виде эллипса и, кроме того, будет понапрасну заслонять часть лучей.

Очень часто при расчете размеров плоского зеркальца делают следующую ошибку (рис. 4): принимают во внимание только конус лучей, имеющий своим основанием главное зеркало, а вершиной — точку главного фокуса на оптической оси, т. е. делают плоское зеркальце столь малым, что оно может целиком перехватить лучи только от одной точки, лежащей как раз на оптической оси трубы. Иными словами, главное зеркало при этом используется целиком лишь при рассматривании одной звезды, приведенной точно в центр поля зрения. Все остальное поле зрения получает лишь часть лучей и тем меньшую, чем дальше звезда находится от центра поля зрения. В случае ярких светил (Солнце, Луна, планеты) это еще не так страшно (хотя при фотографировании скажется очень сильно), но для наблюдения слабых объектов по-

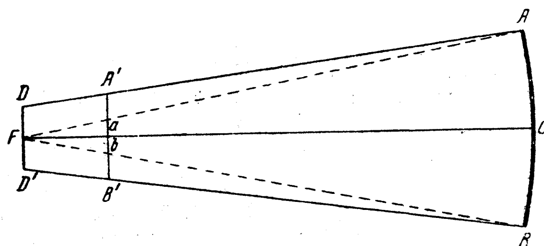



Рис. 4. Определение размеров плоского малого зеркальца для рефлектора системы Ньютона.

*AB* — главное вогнутое зеркало; главный фокус его в точке *F* на оптической оси *CF*, *DD'* — поле зрения в фокальной плоскости. Малая ось плоского зеркальца должна быть равна *A'B'*, а не *ab*, так как поле зрения не точка *F*, а кружок с поперечником *DD'*.

добное зеркальце совершенно непригодно, так как отнимет значительную часть дорогого нам света. Это вредное («виньетирующее») действие слишком малого плоского зеркальца не только отнимает свет и делает изображение тусклее, но, что еще хуже, сильно снижает вдали от центра поля зрения разрешающую силу, т. е. способность инструмента показывать детали наблюдаемого светила, например, мелкие подробности на Луне и планетах, разделение тесных пар звезд и пр. Короче говоря, сделать плоское зеркальце чересчур малым — то же самое, что уменьшить главное зеркало.

Как видно из рис. 4, зеркальце должно быть такой величины, чтобы перехватить лучи, образующие усеченный конус, основанием которого является главное зеркало, а усеченная вершина составляет максимальное поле зрения. Таким образом, мы должны сначала задаться определенными размерами поля зрения, а потом по ним рассчитать для данного телескопа минимальный размер плоского зеркальца. Не входя здесь в подробности, дадим формулу для расчетов (интересующиеся выведут ее сами, пользуясь рис. 4):

$$b = \frac{D\left(\frac{D}{2} + k\right) + d\left[f - \frac{D}{2} + k\right]}{f},$$

где $b$ — длина малой оси эллиптического зеркальца, $D$ — диаметр главного зеркала, $f$ — фокусное расстояние главного зеркала, $d$ — поперечник (линейный) поля зрения и $k$ — постоянная величина, равная сумме

ширины зазора между главным зеркалом и трубой, толщины стенки трубы и расстояния, на которое желают вывести (вбок) изображение из трубы наружу. Если задаться не линейным, а угловым поперечником поля зрения, то второе слагаемое числителя в нашей формуле надо умножить на $\frac{f}{57}$. Наконец, если мы имеем дело не с эллиптическим, а с круглым зеркальцем, то для расчета его диаметра (очевидно, равного большой оси эллиптического зеркальца) надо величину $b$ умножить на $\sqrt{2} = 1.41$.

Произведем расчет круглого зеркальца для телескопа с главным зеркалом $D = 150$ мм, $f = 1500$ мм, $d = 0.5°$ (угловой поперечник Луны и Солнца), $k = 50$ мм $+ 10$ мм $+ 20$ мм $= 80$ мм:

$$f = \frac{150\,(75+80) + 0.5\,\frac{1500}{57}\left[1500 - (75+80)\right]}{1500} \approx 27.3 \text{ мм}.$$

Диаметр круглого зеркальца будет равен 27.3 мм × 1.41 = 38.5 мм.

3. Вырезание стеклянного кружка из зеркального стекла не представляет затруднений. Его можно просто вышлифовать из куска зеркального стекла. Для этого нужно, обломав стекло щипцами для придания ему приблизительно круглых очертаний, вклеить его разогретой смолой в распиленную поперек цилиндрическую деревяшку соответственного диаметра и сошлифовать выдающееся со всех сторон стекло, при помощи карборунда, на куске толстого стекла. Лучше, однако, вырезать кружки при помощи железной или медной трубки. Трубка должна иметь внутренний диаметр несколько больший, чем необходимый диаметр кружка, а толщину стенок — около 1 мм. Она должна быть снабжена по краю косыми насечками в 3—5 мм глубиной, которые легко сделать напильником. Такой трубкой можно сверлить стекло с помощью кашицы из карборунда или наждака средней крупности. Конечно, лучше всего воспользоваться вертикальным сверлильным станком, но можно вместо него сделать деревянный станочек в виде буквы П с перекладиной. Пропустив сквозь верхушку и перекладину трубку, можно вращать ее при помощи «лучка» (бечевка и гибкий прут). Вырезка кружка из зеркального стекла занимает от 5 до 30 минут, смотря по толщине стекла и в зависимости от оборудования.

4. Шлифовка. Изготовление плоской поверхности в корне отличается от изготовления вогнутой в том отношении, что плоская поверхность не получается «сама собою», а только при применении особых приемов. Наилучший способ таков. Три одинаковых стеклянных кружка (назовем их № 1, № 2 и № 3) попарно пришлифовываются друг к другу таким образом: № 1 шлифуется сверху № 2, затем № 2 шлифуется сверху № 3 и, наконец, № 3 шлифуется сверху № 1. По окончании этого цикла (в каждой комбинации минут по пять) все начинается снова, и так до окончания тонкой шлифовки. Читатель, уже практически знакомый со шлифовкой вогнутого зеркала, легко поймет, что при такой процедуре все три стекла должны стать плоскими (конечно, если шлифовка каждой пары продолжается одинаково долго), потому что приобретаемое каждым кружком углубление (когда он наверху) ликвидируется после того, как он будет шлифоваться сверху другим диском.

Сама шлифовка производится так же, как и при изготовлении вогнутого зеркала, т. е. прямыми штрихами примерно в $^1/_4$—$^1/_3$ диаметра; нет только никакой нужды начинать с крупного наждака, а можно начинать сразу с пятиминутного. Слишком маленькие кружки очень трудно шлифовать обходя вокруг стола. Несравненно удобнее работать сидя, пристроив какое-либо приспособление для поворачивания нижнего

кружка. Годится, например, круглая дощечка, удерживаемая от ерзания по столу тремя планками. Поворачивая ее вместе с лежащим на ней кружком на небольшой угол левой рукой, правой рукой двигают верхний кружок, поворачивая его в то же время в противоположном направлении пальцами.

Каждая «порция» шлифовки занимает, как сказано, минут пять, после чего оба стекла надо обмыть, верхнее положить вниз, нижнее отложить в сторону, а третье взять в качестве верхнего. Чтобы не сбиться, на стеклах надо сделать метки.

Понятно, ручек к стеклянным кружкам приклеивать не придется. Проще всего пользоваться куском пробки, подклеенным резиной. Такая ручка обыкновенно хорошо цепляется за стекло. Первые стадии шлифовки, пока стекла еще далеки от плоскости и могут заедать, можно проделать держа кружки просто пальцами.

Если кружки слишком малы, то добиться правильной поверхности очень трудно; на краях почти неизбежен сильный завал вследствие «опрокидывания» стекла при движении взад и вперед. Наименьший диаметр будет 40—50 мм. Для изготовления меньших стекол можно поступить следующим образом. Вырезав три кружка стекла диаметром на 20—30 мм больше, чем нужный диаметр зеркальца, мы затем просверлим в каждом по концентрическому круговому желобку почти насквозь при помощи трубки, внутренний диаметр которой соответствует диаметру будущего зеркальца. Желобок зальем парафином или воском и будем шлифовать подготовленные так кружки описанным выше способом. По окончании шлифовки и полировки мы просверлим кружок до конца и отбросим ненужное теперь наружное кольцо, на котором, вероятно, образовался при обработке завал. Казалось бы, можно сделать гораздо проще, именно, изготовить плоское зеркальце несколько большего размера, чем нужно, и вырезать из него среднюю часть, отбросив края. К сожалению, обычное стекло при резке коробится; поэтому, как бы хорошо ни был отшлифован кружок, вырезанная из него часть все равно окажется непригодной.

Шлифовка ведется в остальном совершенно так же, как и в случае вогнутого зеркала; нужно только остерегаться при переходе к более мелкому сорту наждака, чтобы в круговом желобке, залитом парафином, не оставалось зерен наждака. Для верности лучше соскрести ногтем верхний слой парафина.

5. Полировка производится обычным способом, на смоляном полировальнике. Маленькие кружки удобнее полировать сверху, сделав полировальник на кружке из толстого стекла или, еще лучше, на стеклянной пробке подходящего размера. Фасетки должны быть, соответственно размеру полировальника, маленькие, со стороной около 1 см. Полировать надо все три кружка попеременно; как мы сейчас увидим, все три кружка будут нужны для определения характера поверхности. Через 2—3 часа поверхность кружков уже хорошо заблестит и можно будет приступить к окончательной отделке поверхности — к фигуризации.

6. Фигуризация. Для контроля поверхности нашего будущего зеркальца мы воспользуемся интерференционным способом, широко применяемым при производстве мелких и средних оптических деталей. Этот способ основан на наблюдении интерференционных полос, возникающих при прикладывании друг к другу полированных поверхностей. Не останавливаясь здесь на теоретической стороне дела (незнакомые с ней могут обратиться к любому учебнику оптики), скажем лишь о том, что необходимо для работы. Если наложить точно плоское стекло на другое такое же плоское стекло, то, рассматривая их на темном фоне при падающем свете, мы увидим радужные полосы, которые будут совершенно прямыми. Если стекла абсолютно чисты и ничто, следовательно, не мешает им соприкоснуться очень тесно, мы увидим, что эти

полосы будут на наших глазах расширяться и уменьшаться в числе, пока не останется лишь одна полоса, шириной во все стекло; но и та будет продолжать раздвигаться, и от всей радуги, наконец, останется лишь один цвет, например, зеленый, равномерно заливающий всю поверхность стекла. Если мы осторожно приподнимем верхнее стекло с одного края, то снова появятся параллельные полосы, которые будут узкими и частыми с приподнятого края и широкими и редкими с противоположного края стекла. Из сказанного можно видеть, что ширина полос и расстояние между ними зависят от толщины воздушной прослойки между стеклами: чем тоньше эта прослойка, т. е. чем теснее сложены стекла, тем шире полосы, и наоборот.

Легко понять, что полосы окажутся искривленными, если стекла не совершенно плоски; положим, что одно из них слегка выпукло. Очевидно, воздушная прослойка не будет уже иметь одинаковой толщины ни по какому направлению; от этого полосы изогнутся дугами, а при точном накладывании одного стекла на другое мы получим кольцевые полосы («кольца Ньютона»). Кривизна полос позволяет не только заметить кривизну поверхности, но и определить характер поверхности, т. е. выпуклая она или вогнутая, а также измерить степень ее отклонения от плоскости.

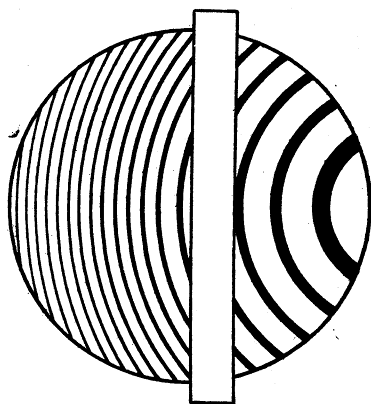


Рис. 5. Вид интерференционных полос в случае выпуклости испытываемого стекла (предполагается, что на него наложено в точности плоское пробное стекло). С правой стороны полосы шире и сильнее искривлены, что указывает на более тесное соприкосновение стекол. Приложенная линейка позволяет определить кривизну стекла (в данном случае выпуклость составляет около трех полос).

Если иметь заведомо точно плоское стекло («пробное стекло», или калибр), то ничего не стоит определить характер обрабатываемой поверхности, прикладывая его к ней. Если при накладывании полосы движутся выпуклостью вперед, а концы их как бы задерживаются у краев стекла, это значит, что испытуемая поверхность выпуклая. Если, наоборот, вперед бегут концы полос, а середина отстает, то поверхность вогнутая. Неправильная поверхность даст и полосы неправильные. Например, заваленный край даст «выпуклые» концы полос, а вогнутая середина — «вогнутые» средние части; это, между прочим, наиболее часто встречающийся дефект у начинающих. Рис. 5 наглядно объясняет сказанное.

Заметим, что есть еще очень наглядный способ определить характер испытуемой поверхности: если при опускании головы видимые полосы будут разбегаться от центра к краям, это значит, что поверхность выпуклая; если же они будут, напротив, сбегаться к центру, то поверхность вогнутая. При подымании головы картина будет, конечно, обратная.

Отклонение поверхности от требуемой (в нашем случае — от плоскости) принято оценивать в величине стрелки прогиба полосы, выраженной в долях ширины этой же полосы. Если полоса изогнута настолько, что наибольшее ее отставание от прямой, проведенной от конца к концу, равно ширине всей полосы (т. е. ширине всего спектра от красного цвета до следующего красного), то говорят, что «кривизна равна одной полосе». Для наших целей наибольшая допустимая кривизна — в полполосы (или, в переводе на линейные меры, в $^1/_4$ длины волны света, т. е., в среднем, около 0.000125 мм). Но нужно иметь в виду, что это самый крайний предел, и нужно постараться добиться большей точности поверхности, по возможности, в $^1/_4$ полосы.

Степень искривления полос можно хорошо оценить на глаз, при помощи линейки или карандаша, положенного на стекло в направлении касательной к выпуклости полос. Еще лучше держать карандаш над стеклами и сравнивать кривизну полос с прямым краем отражения карандаша.

Так обстоит дело, если у нас есть точно плоское стекло (калибр). Когда его нет, определяют поверхность каждого из трех стекол, складывая их поочередно друг с другом во всех возможных комбинациях. Это дает возможность составить нужные три уравнения, из которых найдем все три неизвестные, т. е. определим истинные поверхности каждого из наших стекол в отдельности.

Условимся обозначать выпуклость знаком +, а вогнутость знаком —. Положим, что мы получили следующие результаты от складывания стекол № 1 с № 2, № 1 с № 3 и № 2 с № 3:

$$\text{№ } 1 + \text{№ } 2 = -1,$$
$$\text{№ } 1 + \text{№ } 3 = -2,$$
$$\text{№ } 2 + \text{№ } 3 = +1.$$

Решаем эти уравнения обычным образом и находим: № 1 = —2, № 2 = +1, № 3 = 0. Значит стекло № 1 вогнутое в две полосы, стекло № 2 выпуклое в одну полосу, а стекло № 3 точно плоское.

Нет необходимости доводить до законченного состояния все три стекла, а можно ограничиться лишь одним; два другие, хотя бы и не до конца отполированные, будут вполне пригодны для испытания.

Сама фигуризация, или изменение формы поверхности в нужную сторону и устранение местных неправильностей, мало отличается от той, которая нам уже знакома по изготовлению вогнутого зеркала. Нужно отметить лишь одну существенную особенность плоских поверхностей. Она состоит в их крайней неустойчивости по сравнению с поверхностью сферической, которая может сохраняться неизменной в продолжение многочасовой обработки. Плоская поверхность, строго говоря, меняется при полировке ежеминутно, становясь то вогнутой, то выпуклой. Искусство состоит здесь в том, чтобы поймать момент, когда поверхность станет плоской, и не давать ей сильно отклоняться в ту или другую сторону.

Чрезвычайно полезно время от времени выравнивать полировальник, стараясь придать ему как можно более плоскую поверхность. Для этого, конечно, нужно иметь хотя бы приблизительно плоское стекло. Накладывая полировальник на самый плоский из наших трех кружков и оставляя на ночь, мы сильно ускорим дело.

Нужно помнить и о влиянии температуры. Небольшие колебания температуры очень сильно коробят маленькое стеклышко; в этом легко убедиться, дохнув на сложенные для испытания стекла или приложив палец к верхнему стеклу.

Несколько замечаний о самой технике испытания. Прежде всего, стекла, прикладываемые одно к другому, должны быть очень чисты; малейшая соринка не дает им сложиться достаточно плотно и может, кроме того, сделать царапины. Ни в коем случае нельзя позволять стеклам ерзать друг по другу, иначе царапины неизбежны. Очень важно правильное освещение. Строго говоря, нужен монохроматический свет (например, желтый свет натриевого пламени), но можно обойтись и обыкновенной лампой; необходимо лишь поместить лампу как можно выше над головой, чтобы можно было рассматривать стекла, по возможности, вертикально сверху. Чтобы свет был рассеянный, надо завесить лампу тонкой бумагой или тканью.

Придерживаясь этих кратких указаний, можно изготовить очень хорошее плоское зеркальце. Недостатком его будет, однако, что оно круг-

лое, а не эллиптическое и, следовательно, его проекция на главном зеркале будет не круг, а эллипс. Это несколько скажется на качестве изображений. Единственный выход из положения состоит в том, чтобы окружить зеркальце эллиптической закраиной с большой осью, равной диаметру зеркальца, умноженному на $\sqrt{2}$. При этом, конечно, придется потерять еще некоторую часть света.

## СЕРЕБРЕНИЕ ЗЕРКАЛ

Любитель непременно должен уметь сам серебрить свои зеркала, так как серебряный слой приходится возобновлять не реже раза в год, а в большинстве случаев — гораздо чаще. Овладеть этим искусством может, конечно, всякий, но для того, чтобы действительно хорошо посеребрить зеркало, нужен опыт и большая тщательность в работе.

Основное условие успеха — образцовая чистота во всем, начиная с самого зеркала и кончая посудой. Все вещества, применяющиеся для серебрения, должны быть химически чистыми; воду можно употреблять только дистиллированную (ее можно достать в аптеке).

Суть процесса серебрения, каким бы рецептом мы ни воспользовались, состоит в том, что из раствора соли серебра, посредством добавления восстанавливающих веществ, выделяется металлическое серебро, которое отлагается в виде зеркальной пленки на полированном стекле. Хотя этот химический процесс столь сложен, что до конца еще не изучен, практика серебрения разработана настолько хорошо, что, при соблюдении всех правил, успех обеспечен.

1. Материалы. 1) Азотнокислое серебро (ляпис); 2) едкое кали (или натр), химически чистое; 3) чистый нашатырный спирт (водный раствор аммиака); 4) сахар-рафинад; 5) азотная кислота (крепкая, химически чистая); 6) винный спирт (ректификат); 7) дистиллированная вода; 8) гигроскопическая вата; 9) фильтровальная бумага; 10) хорошая, плотная бумага; 11) парафин или воск; 12) кусок замши или мягкой бумазеи; 13) бечевка тонкая; 14) резиновые перчатки или напальчники.

2. Посуда. Для серебрения 150 мм зеркала нужна следующая посуда: 1) банка емкостью в 400—500 см$^3$; 2) 3—4 склянки емкостью от 0.25 до 1 л; 3) две мензурки (одна на 100—200 см$^3$, другая на 10—25 см$^3$); 4) колба или чистая эмалированная кастрюля емкостью в 0.5—1 л; 5) капельница.

3. Приготовление растворов. 1) Раствор азотнокислого серебра: азотнокислого серебра — 10 г, дистиллированной воды — 200 см$^3$; 2) раствор едкой щелочи: едкого кали — 10 г или едкого натра — 7 г, дистиллированной воды — 200 см$^3$; 3) восстанавливающий раствор: сахара-рафинада — 70 г, дистиллированной воды — 250 см$^3$. По растворении сахара нужно добавить 3.5 см$^3$ крепкой азотной кислоты и кипятить на легком огне до появления лимонно-желтой окраски; по остывании добавить 50 см$^3$ спирта ректификата и долить дистиллированной воды до 1000 см$^3$. Восстанавливающий раствор должен перед употреблением постоять несколько дней; хранить его можно неограниченно долго. Остальные растворы надо приготовлять лишь перед употреблением.

Вся посуда должна быть перед употреблением тщательно вымыта крепкой азотной кислотой, крепким раствором едкой щелочи, тщательно промыта водой из-под крана и ополоснута дистиллированной водой. Вытирать посуду нельзя ни в коем случае, а надо высушивать. Запасные реактивы и чистую посуду надо тщательно защищать от пыли. Едкая щелочь должна быть закупорена особенно плотно для предохранения от воздуха (пробку залить парафином).

4. Чистка зеркала. Поверхность, подлежащая серебрению, должна быть химически очищена; качество серебрения в первую очередь зависит от того, насколько тщательно очищена поверхность перед серебрением.

Удалив ручку (как мы уже упоминали, это делается резким ударом по ней сбоку), надо соскоблить смолу с задней поверхности зеркала и вычистить ее керосином или бензином. Край зеркала, на котором после полировки остался плотный красный налет крокуса, также надо обмыть керосином или бензином. Затем все зеркало тщательно моется с мылом, обсушивается и прополаскивается азотной кислотой (если она была концентрированная, то разведенной вдвое водой) с помощью ваты. Понятно, что голыми руками этого делать нельзя, а либо в резиновых перчатках либо держа вату двумя лучинками или навертев на палочку (вообще с азотной кислотой надо обращаться осторожно!). Мыть азотной кислотой надо со всех сторон и очень тщательно, пока не будет скрипеть везде при трении ватой с кислотой. После азотной кислоты зеркало надо обмыть водой и тщательно протереть ватой с крепким раствором едкой щелочи (со щелочью нужна неменьшая осторожность!). Наконец, зеркало обмывают большим количеством воды, ополаскивают дестиллированной водой (если поверхность очищена хорошо, то вода нигде не должна сбегать с нее, а оставаться тонкой, равномерной пленкой) и быстро завертывают в несколько слоев чистой фильтровальной бумаги для обсушки и защиты от пыли.

Ни в коем случае нельзя ни во время чистки, ни после нее касаться пальцами лицевой поверхности зеркала во избежание загрязнения ее жиром. Жирные пятна не покроются серебром.

Надо избегать обливать зеркало холодной водой; на холодное стекло серебряный слой осаждается хуже, а от слишком резкого охлаждения зеркало может даже треснуть.

5. Приготовление серебряного раствора. В банку вливают столько раствора азотнокислого серебра, чтобы на каждые 100 см$^2$ поверхности зеркала пришлось 3—4 г азотнокислого серебра (для 150 мм зеркала — 100—130 см$^3$), и начинают прибавлять к нему по каплям из капельницы нашатырный спирт, все время взбалтывая. Раствор сразу помутнеет от выделения коричневой окиси серебра. По мере дальнейшего прибавления нашатырного спирта осадок начнет переходить в раствор, и жидкость будет снова светлеть. Нашатырного спирта надо прибавить столько, чтобы осадка осталось чуть-чуть; если же жидкость станет совершенно прозрачной, это значит, что нашатырного спирта добавлено слишком много, и тогда серебрение будет неудачно. В таком случае нужно по каплям добавить столько раствора азотно-кислого серебра, чтобы раствор снова чуть-чуть пожелтел и замутился.

Затем в другую банку отмеривается столько же раствора щелочи, сколько было взято раствора азотнокислого серебра, и вливается при сильном взбалтывании в раствор азотнокислого серебра с нашатырным спиртом; получается снова темнокоричневый осадок. Этот осадок опять растворяют, добавляя нашатырный спирт по каплям. При этом нужно остерегаться избытка, как вначале. Получившийся раствор должен быть слегка мутноват; если же он прозрачен, как вода, то это опять-таки указывает на избыток нашатырного спирта. В таком случае надо снова добавить столько раствора азотнокислого серебра, чтобы раствор чуть-чуть замутился.

Теперь отмерим вдвое меньшее количество восстанавливающей смеси, чем было взято раствора азотнокислого серебра (т. е. от 50 до 65 см$^3$), и у нас все будет готово для серебрения; достаточно влить восстанавливающий раствор в серебряный раствор, чтобы тотчас же началось выделение серебра.

6. Серебрение. Для того чтобы налить серебряный раствор на зеркало, нужно сделать бортик из парафинированной бумаги. Возьмем полоску хорошей бумаги шириной, примерно, в 2/3 поперечника зеркала и длиной в 1.25—1.5 его окружности (т. е. около 100 мм шириной и 60—70 см длиной для 150-миллиметрового зеркала). Развернем зеркало и положим его вогнутой поверхностью вниз на подставочку, обернутую фильтровальной бумагой; высота этой подставки должна быть, примерно, на толщину зеркала меньше, чем ширина полосы бумаги, а ширина немного меньше поперечника зеркала. Растопив на сковороде парафин, пропитаем им бумажную полоску, протягивая ее туда и сюда, и, еще теплую, обернем вокруг зеркала так, чтобы нижний край полосы стал на стол; убедившись, что между бумагой и краем зеркала нет щели, крепко обвяжем вокруг бечевкой, срежем лезвием бритвы выдающийся над задней стороной зеркала избыток бумаги и тщательно смажем и шов и край горячим парафином. Теперь борт вокруг зеркала готов.

Осторожно перевернем зеркало, очистив край бумажного борта от могущего стечь парафина (остерегаться уронить кусочек на лицевую сторону зеркала!).

Надо заметить, что раствор серебра с нашатырным спиртом ни в коем случае нельзя оставлять стоять надолго. Помимо того, что он от стояния портится, в нем может образоваться при стоянии сильно взрывчатое гремучее серебро, не раз бывшее причиной несчастий. Поэтому нельзя заготовлять его впрок, а лишь непосредственно перед серебрением.

Теперь приступаем к самому серебрению. Быстро вливаем отмеренный восстанавливающий раствор в серебряный раствор, взбалтываем и тотчас же выливаем смесь на зеркало. Чуть желтоватая вначале, смесь через 2—3 секунды краснеет, а немного спустя чернеет, и начинается образование серебряного слоя. С самого первого момента и до конца серебрения надо поддерживать серебрящую смесь в непрерывном движении, энергично двигая зеркало, иначе осаждение серебряного слоя будет итти неравномерно, а выделяющиеся хлопья осадка вызовут образование пятен и дырок на слое серебра. Для того чтобы избежать прилипания хлопьев осадка к серебряному слою, поступают следующим образом. Как только поверхность зеркала заблестела от образовавшегося на ней металлического слоя и стали заметными осевшие на нем хлопья осадка, в жидкость бросают один за другим кусочки ваты размером с грецкий орех (вату надо нащипать заранее); ерзая во все стороны вместе с жидкостью, куски ваты будут сметать образующийся осадок со слоя. В это время особенно важно поддерживать жидкость в энергичном движении; так как одному трудно справиться с работой, очень желательно заручиться помощником, который бросал бы кусочки ваты в жидкость, поддерживаемую в возможно более быстром, лучше всего — вращательном, движении.

Постепенно жидкость светлеет, пока не станет почти прозрачной. На ее поверхности появляются сероватометаллические пленки. К этому времени (от 3 до 10 минут после начала серебрения) серебрение можно считать законченным. Раствор вместе с выделившимся осадком излишнего серебра быстро сливают, бумажный бортик удаляют и зеркало обильно обмывают водой, осторожно обтирают без всякого нажима, под струей воды, клоком гигроскопической ваты и ополаскивают дестиллированной водой.

Только что осажденный слой серебра должен быть зеркально блестящ и иметь лишь легкий желтоватый оттенок, исчезающий при высыхании. Сушка должна происходить как можно быстрее; лучше всего обсушить слой при помощи фильтровальной бумаги. Чтобы не повредить при этом нежную пленку серебра, накладывают несколько слоев филь-

тровальной бумаги на серебряный слой и, крепко прижав бумагу к краю зеркала левой рукой, ребром правой ладони несколько раз проводят по бумаге слева направо, осторожно удаляют бумагу (не стаскивать вбок, а поднимать прямо кверху!) и ставят зеркало на ребро для окончательной просушки.

Высохший слой должен быть совершенно равномерным, без пятен и подтёков и, при рассматривании на просвет, почти непрозрачным. Лишь самые яркие источники света (например, волосок лампочки) могут просвечивать сквозь серебряный слой голубым светом. Проверять плотность слоя надо немедленно по сливании серебрящего раствора; если слой окажется тонок, то можно повторить серебрение. Но пред повторным серебрением зеркалу нельзя давать подсыхать, а нужно налить на него дестиллированной воды, к которой добавлено несколько капель нашатырного спирта.

Хороший серебряный слой почти не нуждается в полировке, настолько он чист и блестящ. Но далеко не всегда, особенно у начинающих, серебрение проходит так удачно. Обычно зеркало получается мутноватым, как бы покрытым белым налетом. Этот налет может быть удален полировкой серебряного слоя. Полировать можно лишь совершенно высохший слой, по возможности, не ранее, чем на следующий день после серебрения. Сначала нужно тщательно смахнуть пыль клочком чистой ваты без малейшего нажатия, и только тогда можно начать осторожно тереть серебряный слой другим, совершенно чистым комком ваты, описывая им круги и эллипсы и чуть-чуть нажимая. Через несколько минут уже от этой обработки серебряный слой начнет как бы яснеть, а беловатая муть сходить с него. Тогда можно взять на ту же вату немного сухого крокуса (предварительно растертого в мокром виде между двумя тонко пришлифованными стеклами), отряхнуть, чтобы крокуса на вате остались, буквально, следы, и продолжать полировку. Остатки дымки обычно сходят очень быстро, и поверхность получает прекрасный блеск. Если же полировка местами идет плохо и остается неровная муть, это значит, что поверхность стекла была плохо вымыта перед серебрением. В таком случае не помогает даже и продолжительное полирование, и остается только наново посеребрить зеркало.

Серебрение — довольно деликатный и не сразу дающийся процесс. Не следует, однако, смущаться неудачами. Причины этих неудач чаще всего таковы.

1. Нечистая поверхность зеркала. Надо иметь в виду, что зеркало должно быть чисто со всех сторон, а не только с вогнутой поверхности, так как грязь может быть незаметно занесена на вогнутую поверхность, особенно с боков зеркала. Ни в коем случае нельзя прикасаться (особенно пальцами!) к поверхности зеркала после чистки; заметим здесь, что вообще не следует трогать руками оптические поверхности.

2. Нечистая посуда. Все, включая бутылки для растворов, должно быть вымыто столь же тщательно, как и само зеркало.

3. Нечистые химикалии. Примеси в азотнокислом серебре, едкой щелочи, в воде неизбежно вызовут муть в серебряном слое. Особенно вреден хлор, который содержится в водопроводной воде и в нечистой едкой щелочи. Щелочь надо тщательно защищать от воздуха, откуда она легко поглощает углекислый газ, превращаясь в углекислую соль, примесь которой также вредна.

4. Слишком высокая или слишком низкая температура. Лучше всего серебрить при температуре около 20° С. Чем теплее раствор, тем меньше нужно восстанавливающего раствора. Само зеркало ни в коем случае не должно быть холоднее раствора.

5. Избыток нашатырного спирта. Если его слишком много, серебро вообще может совершенно не выделиться.

Малое зеркальце серебрить гораздо лёгче, чем большое. Его после чистки и промывки можно просто положить на дно посудинки подходящего размера и залить серебрящей смесью. Совершенно так же, как и при серебрении большого зеркала, образующийся осадок удаляют клочком ваты; здесь можно просто осторожно двигать по поверхности зеркальца ватку, держа ее на стеклянной палочке или лучинке, разумеется, на весу, без всякого нажима.

Серебряный слой очень нежен и лёгко повреждается. Поэтому с зеркалом надо обращаться с осторожностью. Прежде всего, нельзя прикасаться к нему пальцами: жир вызывает пятна и отставание серебра. Запотевание (при внесении холодного зеркала в теплое помещение или при наблюдениях в холодную ночь без соответствующих предосторожностей против образования росы) также может вызвать порчу и отставание серебряного слоя. Наконец, от сероводорода и некоторых других газов серебро темнеет; поэтому нужно стараться защищать зеркало от напрасного соприкосновения с воздухом, закрывая его крышкой или стеклом. Хорошо посеребренное зеркало может служить год и более, но продолжительность службы сильно зависит от места: в фабричных городах или на берегу моря серебряный слой иногда совершенно темнеет через 2—3 месяца.

## ПРОСТАЯ УСТАНОВКА РЕФЛЕКТОРА

Имея главное вогнутое зеркало и вспомогательное плоское зеркальце, можно производить наблюдения вовсе без трубы и штатива, устроив примитивную установку из хорошей доски, шириной, равной диаметру зеркала, длиной немного более фокусного расстояния и толщиной в 2—2.5 см (рис. 6). К одному из концов доски крепко привинчивается

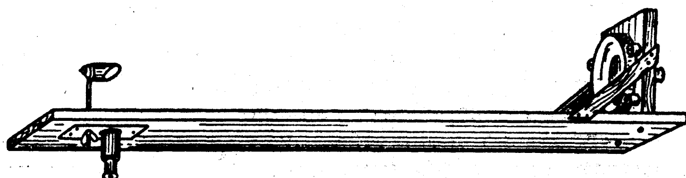


Рис. 6. Чикинская доска для предварительной монтировки. Описанное в тексте устройство окулярной части доски несколько упрощено по сравнению с показанным на рисунке.

перпендикулярная квадратная доска, немного бóльшая, чем зеркало. Для прочности ее надо укрепить косяками из планок. Четыре пробки или четыре шурупа, обтянутые резиновой трубкой, будут служить для удержания зеркала. Сквозь эту доску с задней стороны надо пропустить три шурупа так, чтобы зеркало могло лечь на их концы тремя точками своей задней поверхности; этими шурупами можно будет регулировать направление зеркала при центрировке нашего «телескопа».

Установив зеркало на доске, направим его на Солнце или Луну и поймаем изображение на кусочек белого картона; отодвигая и придвигая картон, найдем положение, при котором изображение будет всего резче и в котором, следовательно, будет находиться главный фокус. Отметим его на доске. Отмерив затем от точки фокуса по направлению к зеркалу расстояние, равное половине диаметра зеркала + толщина доски + 5 см. Пропилим в этом месте по средней линии доски отверстие шириной в 4 см и длиной немногим более этого. Против этого отверстия нужно теперь приладить плоское зеркальце. Согнем довольно толстую проволоку в виде буквы Г и наденем на ее короткое плечо толстую

пробку, наружный конец которой срезан наискось под углом в 45°. К косой поверхности пробки приклеим твердой смолой наше плоское зеркальце, а свободный конец проволоки пропустим в сквозную дырку в доске, высверленную около отверстия так, чтобы зеркальце приходилось как раз против его середины. Конец проволоки загнем и для прочности укрепим шурупом (лучше свернуть проволоку колечком). Длина проволоки должна быть подобрана так, чтобы центр зеркальца был как раз против центра главного зеркала, т. е. на расстоянии его полудиаметра от доски.

Наведем зеркало на светлое небо или на освещенную стену, потолок и т. п. и, заглядывая сквозь отверстие в малое зеркальце (которое, конечно, поставлено лицевой стороной к отверстию) добьемся того, чтобы отражение главного зеркала было видно в малом зеркальце; для этого последнее придется повернуть в ту или другую сторону, а если понадобится, то и немного погнуть проволоку. Затем обратим внимание на видимое в главном зеркале отражение малого зеркальца (оно должно быть видно точно в середине главного зеркала, в противном случае главное зеркало наклонено) и, завинчивая или вывинчивая три шурупа, на которых лежит главное зеркало, установим его так, чтобы, глядя через отверстие в малое зеркальце, мы видели отражение последнего как раз в середине главного зеркала. Когда это достигнуто,— зеркала центрированы, т. е. центр малого зеркальца находится точно на оптической оси главного зеркала; если бы этого не было, изображение наблюдаемого предмета было бы далеко от оси, и возникли бы вредные аберрации, о которых мы говорили, описывая испытание главного зеркала.

Остается приладить окуляр. Возьмем дощечку 7×7 см, толщиной в 4 см. Сделаем в ней отверстие, примерно, на 6—7 мм шире окуляра, тщательно выровняем его круглым напильником и оклеим бархатом или бумазеей. Склеим из бумаги плотную трубку в 8 см длиной и такого внутреннего диаметра, чтобы окуляр входил в нее довольно плотно. Наружный диаметр трубки должен быть такой, чтобы она плотно входила в отверстие в дощечке и могла двигаться в нем с некоторым трением, но плавно. Просверлим в дощечке по углам дырки и привинтим ее к доске снаружи так, чтобы отверстие приходилось к середине отверстия доски, прямо против малого зеркальца. Для точности лучше приладить к окулярной трубке колпачок с маленькой дырочкой в центре; глядя в эту дырочку, мы будем всегда держать глаз точно в центре трубки, на ее оси.

Проверим еще раз центрировку всей системы, заглядывая в окулярное отверстие и постепенно отодвигая голову от него; отражение малого зеркальца в главном зеркале должно при этом все время оставаться видимым, если глаз остается на перпендикуляре к доске, проведенном от центра малого зеркальца через центр окулярной трубки. Если оно отходит в сторону, нужно исправить положение малого зеркальца, повернув его или изогнув проволоку.

Мы еще ничего не говорили об окуляре. Возможности любителя, конечно, очень ограничены, и ему придется пользоваться тем, что окажется доступным. На худой конец годится и обыкновенная лупа и даже простая линза (лучше плоско-выпуклая, повернутая выпуклой стороной к глазу). Рефлектор, вообще говоря, лучше выдерживает увеличение, чем рефрактор; десятикратная лупа ($f = 25$ мм) может служить слабым окуляром, а двадцатикратная ($f = 12.5$ мм) — сильным. Это еще далеко не предельное увеличение; но при таком увеличении практически можно будет видеть все, что способно дать хорошее зеркало.

Для начала лучше наблюдать Луну, яркие планеты Юпитер и Сатурн, а из звезд — Полярную, которая наиболее удобна из-за своей малой подвижности.

Здесь нет места для подробного изложения вопроса об испытании телескопа по небесным светилам. Скажем только, что хорошее зеркало диаметром в 150 мм должно разделять Полярную, ε и ζ Лиры, ε Волопаса, ζ Волопаса, π Лебедя, ξ Большой Медведицы, Ригель.

Наблюдать при помощи описанного устройства, конечно, неудобно, но на первых порах вполне возможно. Вместо штатива можно пользоваться просто стулом или высокой скамьей, опирая доску на спинку. Самое трудное вначале, это — поймать светило в поле зрения нашего примитивного телескопа. Делать это надо так. Нацелившись сначала доской, как ружьем, т. е. глядя вдоль ее края, перейдем к переднему концу доски и постараемся поймать глазом отражение светила, заглядывая спереди в зеркало; голову надо держать, примерно, на расстоянии 25—30 см от конца доски. Для этого может понадобиться взобраться на что-нибудь повыше. Если светила нигде поблизости от малого зеркальца не видно, медленно подвигаем доску в стороны, пока не увидим светило; тогда приведем доску в такое положение, чтобы изображение светила, малое зеркальце, центр главного зеркала и наш глаз оказались на одной прямой (т. е. чтобы светило скрылось за малым зеркальцем, проектирующимся около центра главного зеркала), и перейдем к окулярному отверстию. Заглянув туда (не слишком приближая глаз, а держа его на 25 см), увидим светило и приведем его в середину отверстия, подвинув, как надо, доску. Вставим тогда окуляр, и светило окажется в поле зрения. Наводку на фокус произведем легко, вдвигая и выдвигая бумажную трубку с окуляром (двигать надо вращая ее, как бы ввинчивая; тогда движение будет плавным).

Первые наблюдения, разумеется, целиком уйдут на испытание телескопа и на упражнения в пользовании им. Нужен, конечно, некоторый опыт для того, чтобы научиться следить за светилом, устанавливать на фокус, научиться разбираться в качестве изображений, на которые сильно влияет состояние атмосферы, колебания температуры, изменяющие на время форму зеркала, и т. п.

Как ни примитивна описанная здесь установка, с ее помощью не только можно испытать изготовленные зеркала, но и произвести наблюдения, могущие иметь научное значение или, во всяком случае, не уступающие тем, которые делаются дорогими инструментами. Для примера приводим фотографии Луны и солнечной короны с протуберанцами (в 1936 г.), сделанные составителем этой инструкции при помощи такой установки и самодельных зеркал (рис. 7 и 8).

Однако любитель едва ли сможет удовлетвориться ею навсегда. Конечно, многое зависит здесь уже от материальных возможностей. Но каждый в состоянии достигнуть гораздо большего; каждый может устроить себе штатив, вполне пригодный для серьезных наблюдений и достаточно удобный.

Размеры этой статьи не позволяют подробнее изложить вопрос об устройстве штатива для телескопа, так же как и вопроса об изготовлении своими силами окуляров (что вполне возможно). Однако сообщить самые краткие указания о постройке штатива мы все же считаем необходимым.

Не следует думать, что надо стремиться непременно к сооружению штатива наиболее совершенной системы, т. е. настоящей параллактической установки. Параллактическая установка только тогда отвечает своему назначению, когда она очень хорошо выполнена. А это требует возможностей, которыми мало кто из любителей располагает. Плохо сработанная параллактическая установка вряд ли принесет больше пользы, чем описанная доска. Самая большая трудность, с которой приходится сталкиваться при сооружении установки — достижение устойчивости. Дрожание штатива делает наблюдения невозможными, в чем на своем опыте убеждается каждый, обладающий «настоящим» штативом,

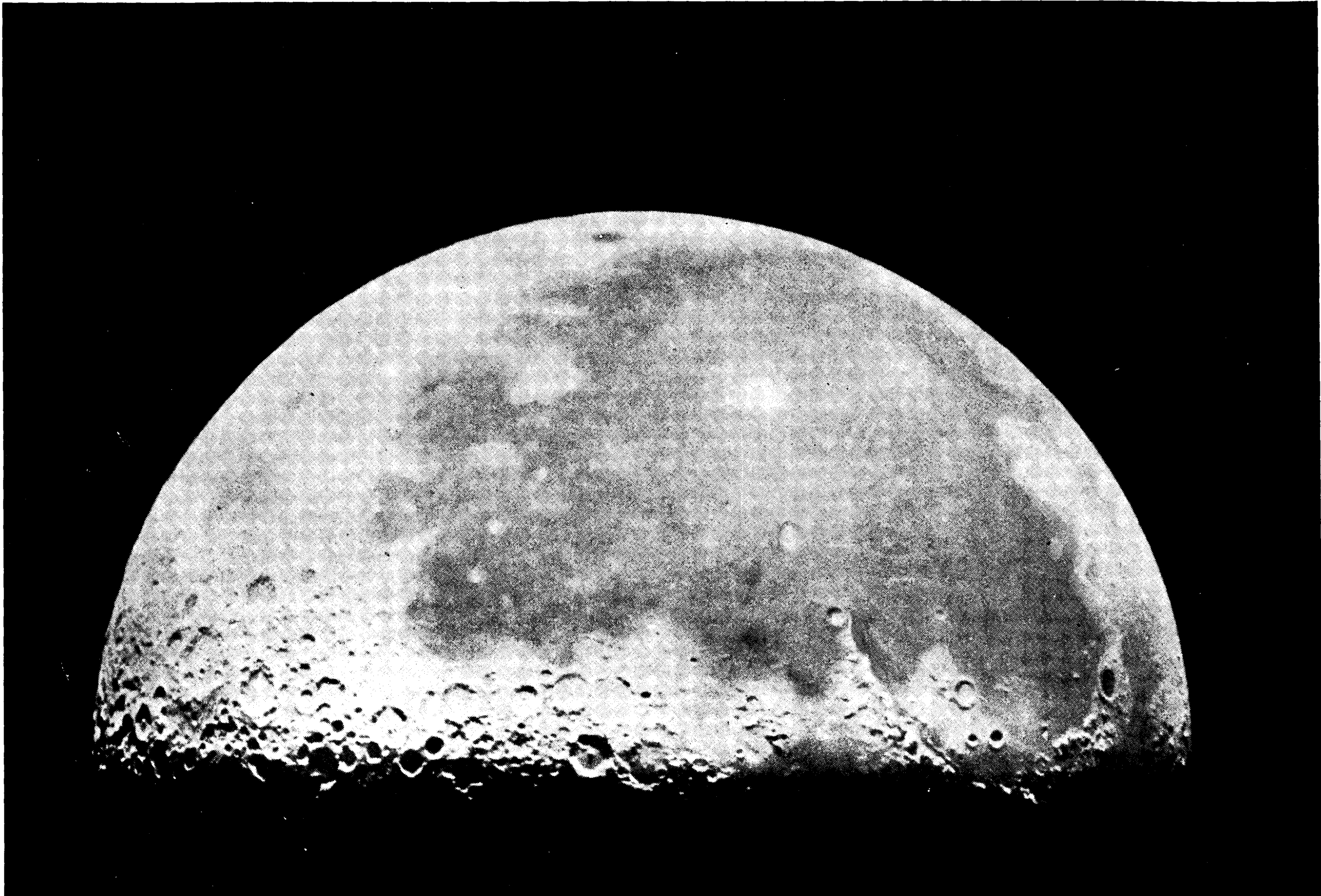


Рис. 7. Фотография Луны около последней четверти, полученная автором при помощи 200-миллиметрового зеркала, монтированного на чикинской доске. Изображение на негативе было около 18 мм в поперечнике; при печати произведено увеличение в 8 раз.

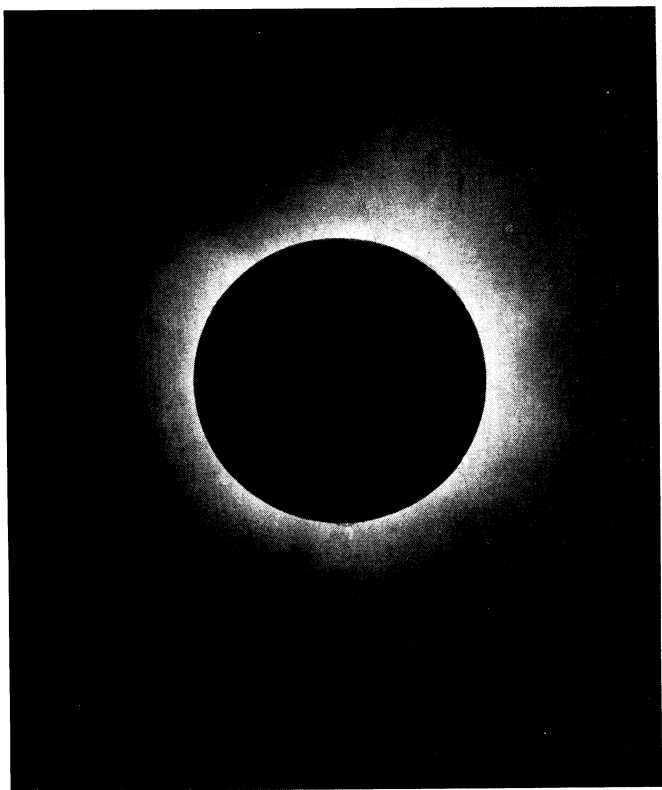


Рис. 8. Фотография солнечной короны (полное солнечное затмение 19 июня 1936 г.), полученная автором с помощью зеркала диаметром в 160 мм, без всякого штатива. В течение полной фазы было сделано 3 фотографии. Поперечник лунного диска на негативах — около 12 мм.

но не очень хорошо выполненным. Наша примитивная «установка» на доске (ее с полным правом можно называть «чикинской», так как она впервые предложена А. А. Чикиным), при всей своей грубости, обладает одним громадным преимуществом: она не подвержена дрожанию, так как опирается обоими своими концами (одним прямо на землю, другим — о спинку стула, или что-либо иное). В прежние времена, когда механика находилась на очень примитивной стадии развития, этот принцип опоры конца, несущего окуляр, широко применялся выдающимися конструкторами и давал блестящие результаты. Мы, не колеблясь, советуем любителям отказаться от «настоящего» штатива, а устроить себе установку, использующую принцип подпорки. Ее можно построить таким образом, чтобы она обладала параллактическим действием, т. е. чтобы светило удерживалось в поле зрения путем поворачивания телескопа лишь вокруг одной оси.

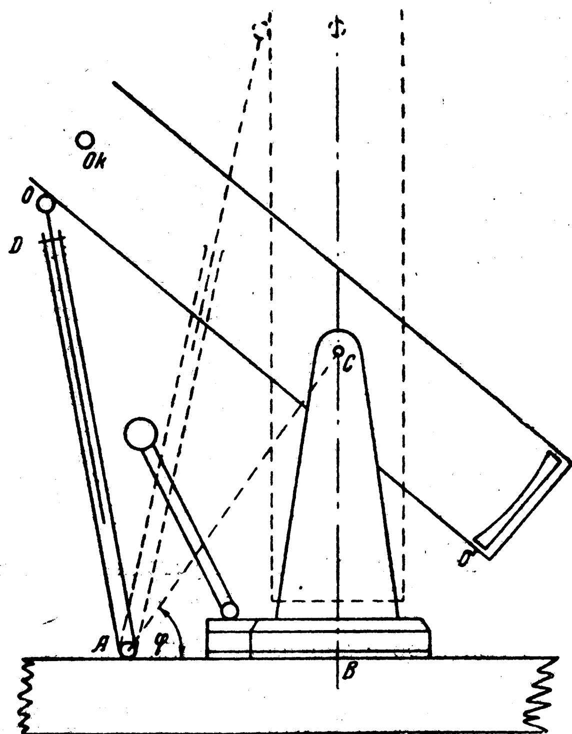



Рис. 9. Схема простого штатива, описанного в тексте.

*Oo* — труба телескопа, установленная на вилке *BC*. Вилка может вращаться около вертикальной оси, вместе с трубойа, вращающейся в вертикальной плоскости около *c*. Подпорка *oA*, соединенная с трубой под окуляром и с основанием штатива в точке *A* при помощи шаровых головок, может раздвигаться; она состоит из трубки, внутрь которой входит стержень. Закрепляясь в любом положении, этот стержень может немного выдвигаться и вдвигаться при помощи винтовой муфточки *D* для небольших перемещений по высоте во время наблюдения. *Ok* — окуляр, сохраняющий всегда горизонтальное положение.

Принцип устройства установки таков (рис. 9). Труба телескопа, которую можно изготовить из дерева, придав ей для простоты квадратное сечение, монтирована на вилке, позволяющей ей поворачиваться на 180°. Вилка, в свою очередь, может вращаться вокруг вертикальной оси. В точке *A* прикреплена при помощи шаровой головки к основанию всей установки раздвижная подпорка, соединенная с трубой близ окуляра такой же шаровой головкой. Точка *A* расположена так, чтобы угол *CAB* был равен широте места наблюдения. Линия *AB* должна совпадать с меридианом. При таком устройстве, будучи закреплена в точке *C* относительно подпорки *OA* (так как подпорка *OA* удерживает точку *O* трубы всегда на одном и том же расстоянии от точки *A*), труба сможет вращаться лишь вокруг прямой *AC*; а эта прямая параллельна оси мира. Поэтому, раз установленная на какое-либо светило, после закрепления раздвижной подпорки, труба пойдет за этим светилом при поворачивании вокруг одной лишь вертикальной оси. Недостатком установки является лишь то, что поле зрения будет вращаться, как во всяком азимутальном штативе (хотя наш штатив и действует, в основном, как параллактический, он остается азимутальным). Для наблюдений это не имеет никакого значения и может оказаться вредно

лишь при фотографировании с долгими выдержками. Другой недостаток описанной установки — непригодность ее для наблюдений в северной стороне неба; вернее, там ее придется применять, как простую азимутальную установку. Это тоже не столь страшно, так как большинство наблюдений производится в южной стороне неба.

Достоинства такой установки велики. Прежде всего, уже отмеченная устойчивость, ради которой стоит итти на все жертвы: закрепленная у окуляра, труба не дрожит даже при сильном ветре. Далее, установка может быть сделана из любого материала (до дерева включительно), за исключением немногих частей, которые желательно сделать металлическими. Наконец, передвижения трубы во всех отношениях чрезвычайно удобны. Так как до вертикальной оси можно легко достать рукой, глядя в окуляр, то достаточно короткого ключа, соединенного с простым устройством (например, обтянутым резиной валиком, цепляющимся посредством трения за втулку вертикальной оси), чтобы во время наблюдений вращать трубу для удержания светила в поле зрения. Точно так же чрезвычайно удобно делать малые перемещения по высоте при помощи нарезной муфточки, сдвигающей и раздвигающей подпорку *OA*.

Наблюдать с такой установкой чрезвычайно приятно. Если сделать ее достаточно массивной, то ее устойчивость совершенно исключительна. При желании можно приладить к ней и часовой механизм, который, даже и при малой точности ведения, освободит правую руку, занятую поворачиванием инструмента за светилом. Большим удобством является также и то, что окуляр при всех положениях остается горизонтальным, а не меняет свой наклон, как при настоящей параллактической монтировке (к востоку от меридиана окуляр наклонен кверху, а когда светило находится к западу, приходится заходить с другой стороны, а то и в очень неудобном положении нагибаться над трубой). У настоящих параллактически монтированных рефлекторов приходится устраивать особое приспособление для устранения этого неудобства: либо вся труба поворачивается вокруг своей оптической оси, либо поворачивается ее окулярная часть.

Рефлектор с зеркалом в 150 мм принадлежит к сильным инструментам; с его помощью можно не только своими глазами видеть все, о чем сообщают популярные книги по астрономии, но и сделать много наблюдений, имеющих научное значение. Приобрести готовый инструмент такой силы для любителя практически невозможно. Поэтому мы не колеблясь рекомендуем попытаться своими силами создать его. При настойчивости и настоящем желании, успех гарантирован.

Сооружение телескопа своими силами не потеряет привлекательности и значения даже и тогда, когда приобретение готового инструмента станет доступным. Это уже не за горами: замечательное изобретение нашего известного оптика Д. Д. Максутова — менисковые телескопы,— соединяющее достоинства рефлекторов и рефракторов в одном инструменте, реализуется советской оптической промышленностью, которая вскоре начнет массовый выпуск телескопов этого нового типа. Однако наблюдения всегда будут иметь особую прелесть, если инструмент самодельный. Для любителя много значит создать телескоп, этот тончайший прибор, своими собственными руками из бесформенных кусков грубого материала и на своем опыте понять каждую деталь его действия. А понять по-настоящему можно лишь после работы над постройкой телескопа. Бескорыстный труд, соединенный с громадным энтузиазмом, всегда отличавшим любителей астрономии, не может остаться бесплодным: недаром все крупнейшие телескопостроители начинали с любительства. Любителем был и основатель астрономической оптики в нашей стране А. А. Чикин, в качестве любителя начал и выдающийся наш специалист по астрономической оптике Д. Д. Максутов. В нашей стране, где твор-

ческой инициативе предоставлены такие исключительные возможности, незаметный вначале труд энтузиастов-одиночек может легко вылиться в коллективное начинание, которое окажет решительное влияние на развитие техники телескопостроения, в которой СССР уже давно занимает почетное место.

Любителям, желающим более серьезно отдаться телескопостроению, необходимо изучить труд Д. Д. Максутова «Изготовление и исследование астрономической оптики», 280 стр., Гостехиздат, Л.— М., 1948.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 3

Изготовление главного зеркала . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 4

1. Материалы и приспособления . . . . . . . . . . . . . . . . 4

2. Шлифовка . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 6

3. Полировка и фигуризация . . . . . . . . . . . . . . . . . . 9

Изготовление вспомогательного плоского зеркальца . . . . . . . . . . . 18

Серебрение зеркал . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 24

Простая установка рефлектора . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 28

*Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета Академии Наук СССР*

---

Редактор издательства *Г. А. Аристов*

---

РИСО АН СССР № 3441. А-06595. Издат. № 2064. Тип. заказ № 2302. Подп. к печ. 12/VII 1949 г. Формат бум. 70×108 1/16. Печ. л. 2 1/4 +1 вклейка. Уч.-издат. 3,2. Тираж 3000.

---

2-я тип. Издательства Академии Наук СССР. Москва, Шубинский пер., д. 10

**КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ
О ВСЕСОЮЗНОМ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ОБЩЕСТВЕ
(ВАГО)**

ВАГО является добровольной общественной организацией граждан СССР, ведущих работу в области астрономической и картографо-геодезической науки и практики (из § 1 устава).

ВАГО состоит при Академии Наук СССР (§ 2 устава).

Основными целями и задачами ВАГО являются: а) содействие развитию передовой советской науки в области астрономии, геодезии и картографии; б) организация широкой помощи членам Общества в повышении их научной квалификации и овладении марксизмом-ленинизмом, а также содействие внедрению в жизнь их научных работ, изобретений и рационализаторских предложений; в) содействие широкому внедрению в практику социалистического строительства новейших научных и технических достижений в области астрономии, геодезии и картографии; г) популяризация и пропаганда новейших научных технических знаний и достижений в области астрономии, геодезии и картографии среди широких трудящихся масс; д) содействие постановке и развитию преподавания астрономических и картографо-геодезических наук в средней и высшей школе СССР; е) активное привлечение ученых и практиков, работающих в области астрономии, геодезии и картографии, к разрешению актуальных теоретических и народнохозяйственных задач социалистического строительства; ж) содействие развитию производства научного и технического инструментария, а также приборов для массовых наблюдений и популяризации; з) постановка и разработка научно-технических и организационных вопросов в области астрономии, геодезии и картографии, вытекающих из мероприятий партии и правительства; и) ведение научной работы силами членов ВАГО с привлечением к участию в таковой любителей астрономии и широких кругов трудящихся; к) организация борьбы с лженаучными теориями и внедрение марксистско-ленинской методологии в работу членов общества; л) ведение антирелигиозной работы среди широких трудящихся масс (из § 3 устава).

Действительными членами ВАГО могут быть граждане СССР, достигшие 18 лет, не лишенные по суду избирательных прав. Лица, желающие вступить в действительные члены ВАГО, подают об этом письменное заявление в ближайшее отделение ВАГО. К заявлению прилагается учетная карточка для членов ВАГО и рекомендации двух членов ВАГО (из § 22 и 24 устава).

Председателем Центрального Совета ВАГО состоит член-корреспондент АН СССР профессор ***А. А. Михайлов***, ученым секретарем — доцент ***Е. Я. Бугославская***.

Адрес Центрального Совета ВАГО:
Москва 9, почтовый ящик 1268.

## АДРЕСА ОТДЕЛЕНИЙ
## ВСЕСОЮЗНОГО АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

**Горьковское** — Горький, почтовый ящик 24.
Председатель: проф. ***К. К. Дубровский.***
(Отделение издает «Астрономический календарь (ежегодник)»).

**Иркутское областное отделение** — Иркутск 9, Астрономическая обсерватория Иркутского гос. университета.
Председатель: ***В. И. Курышев.***

**Калининское** — Калинин, Школьный пер., 16.
Председатель: ***Л. В. Кандауров.***

**Киевское** — Киев, Обсерваторная ул., 3, Астрономическая обсерватория.
Председатель: проф. ***Д. В. Пясковский.***

**Куйбышевское** — Куйбышев областной. Почтамт, почтовый ящик 21.
Председатель: ***И. В. Матвеев.***

**Ленинградское** — Ленинград, В.О., Университетская наб., 7/9, кв. 69б.
Председатель: проф. ***П. М. Горшков.***

**Литовский республиканский филиал** — Вильнюс, ул. Кестучио, 13а, кв. 3.
Председатель: проф. ***П. В. Славенас.***

**Минское** — Минск, Университетский городок, физико-матем. факультет Белорусского гос. университета.
Председатель: проф. ***М. Е. Набоков.***

**Молотовское** — Молотов областной, ул. Ленина, 11а, кв. 4.
Председатель: ***В. И. Кармилов.***

**Московское** — Москва 9, почтовый ящик 1268.
Председатель: проф. ***П. П. Паренаго.***
(В Москве издается «Бюллетень ВАГО»).

**Новосибирское** — Новосибирск, улица Мичурина, 23, Западносибирский филиал Академии Наук СССР.
Председатель: проф. ***В. В. Попов.***

**Одесское** — Одесса, парк Шевченко, Астрономическая обсерватория.
Председатель: проф. ***В. П. Цесевич.***

**Полтавское** — Полтава 3, Обсерваторная ул., 27/29, Гравиметрическая обсерватория.
Председатель: чл.-корр. Академии Наук СССР ***А. Я. Орлов.***

**Рижское** — Рига, бульвар Райниса, 19, Астрономическая обсерватория.
Председатель: доц. ***Я. Я. Икауниекс.***

**Саратовское** — Саратов, Большая Горная, 248, кв. 1.
Председатель: доц. ***П. В. Вьюшков.***
(Отделение издает «Астрономический школьный календарь»).

**Смоленское** — Смоленск, Университетская ул., 8, Педагогический институт.
Председатель: ***Л. А. Самолюбов.***

**Харьковское** — Харьков, Сумская ул., 35, Астрономическая обсерватория.
Председатель: проф. ***Б. П. Остащенко-Кудрявцев.***

**Херсонское** — Херсон, проспект Песпила, 3, Педагогический институт.
Председатель: ***Е. И. Казимирчак-Полонская.***

**Ярославское** — Ярославль, Педагогический институт.
Председатель: доц. ***Л. А. Чернов.***

Цена 3 руб.

2 руб. 40 коп.

## БЮЛЛЕТЕНЬ ВСЕСОЮЗНОГО АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

**(Издание Академии Наук СССР)**

Отв. редактор проф. ***П. И. Попов***

Бюллетень публикует научные работы советских любителей астрономии, а также специалистов в области астрономии, геодезии и картографии; инструкции для научно-любительских наблюдений и изготовления астрономических инструментов; освещает жизнь и работу Всесоюзного астрономо-геодезического общества и его отделений, а также новости астрономии и новинки астрономической литературы.

Бюллетень рассчитан на любителей астрономии и астрономов-специалистов. Издается непериодически. Объем номера—3 печатных листа. В 1947 — 1949 гг. вышли в свет № 1(8), 2(9), 3(10), 4(11) и 5 (12).

Желающие регулярно получать Бюллетень должны обращаться по адресу: Москва 12, Б. Черкасский пер., д. 2, контора «Академкнига», абонементный отдел. Бюллетень продается в книжных магазинах Академии Наук СССР и в филиалах «Академкниги».

**Адрес редакции: Москва 9, почтовый ящик 1268.**

## МОСКОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Имеются в продаже следующие издания:

1) ***А. А. Михайлов.*** «Звездный атлас». Изд. 2-е. дополн. Атлас состоит из четырех карт звездного неба до 40° южного склонения, содержащих все звезды до $5^1/_2$ величины (ц. 20 р.).
2) ***Бюллетень ВАГО*** за 1939—1948 гг.: № 1 (ц. 1 р. 80 к.), № 2 (ц. 1 р. 80 к.), № 3 (ц. 2 р.), № 4 (ц. 2 р. 50 к.), № 6 (ц. 2 р. 75 к.), № 7 (ц. 4 р.), № 1(8) (ц. 3 р.), № 2(9) (ц. 3 р.), № 3(10) (ц. 4 р.), № 4(11) (ц. 2 р.) и № 5 (12) (ц. 3 р.).
3) ***Инструкция для наблюдений переменных звезд.*** Составил ***Ф. Ю. Зигель*** под редакцией ***Б. В. Кукаркина***. 1948, ц. 1 р. 50 к.
4) ***Инструкции для наблюдений планет и комет.*** Составили ***В. А. Бронштэн*** и ***С. В. Орлов***. 1948, ц. 2 р.
5) ***Инструкции для наблюдений полярных сияний и серебристых облаков.*** Составили ***С. И. Исаев, Н. Я. Бугославская*** и ***В. А. Бронштэн***. 1948, ц. 2 р.
6) ***Инструкция для наблюдений Солнца.*** Составили ***Н. Я. Бугославская*** и ***В. В. Бавилевич***. 1948, ц. 1 р. 25 к.
7) ***Бюллетень Коллектива наблюдателей ВАГО*** за 1925—1937 гг. № 4—15, 20, 23—28, 30—36, 38—44, 46 (ц. по 50 к.).
8) ***Отдельные номера журнала «Мироведение»:*** № 1, 5, 6 за 1936 г. (ц. по 2 р.), № 1, 3, 4, 5, 6 за 1937 г. (ц. по 2 р. 50 к.)

Издания высылаются по получении указанной их стоимости почтовым переводом в адрес Московского отделения ВАГО: Москва 9, почтовый ящик 1268.